

TITLE OF THE INVENTION

結像光学系

JC903 U.S. PRO
10/054821
01/25/02

BACKGROUD OF THE INVENTION

本発明は、結像光学系に関し、その中でも特に、ビデオカメラやデジタルスチルカメラ、フィルムスキャナー、内視鏡等、小型の撮像素子を用いた光学装置用の反射面にパワーを有する偏心光学系に関するものである。

近年、ビデオカメラやデジタルスチルカメラ、フィルムスキャナー、内視鏡等の結像光学系では、撮像素子の小型化に伴い、光学系自身も小型軽量、低コスト化が求められている。

しかし、一般の回転対称共軸光学系では、光学系の厚みは光学素子を光軸方向に配列するため、その小型化にも限界がある。また、同時に、回転対称な屈折レンズを用いることにより発生する色収差を補正するために、レンズ枚数の増加は避けられず、低コスト化も困難な状況である。そこで、最近では、特に色収差の発生しない反射面にパワーを持たせ、光軸方向の光路を折り畳むことで、小型化を図った光学系が提案されている。

特開平7-333505号のものは、偏心した反射面にパワーを付けて光路を折り畳み、光学系の厚みを小さくすることを提案しているが、実施例では、構成する光学部材が5個と多い上、実際の光学性能が不明である。また、その反射面の形状までは言及されていない。

また、特開平8-292371号、特開平9-5650号、特開平9-90229号のものでは、プリズム1個あるいは複数のミラーを1つの部材としてブロック化することで光路を折り畳み、その光学系内部で像をリレーしながら最終像を形成する光学系が示されている。しかし、これらの例では、像をリレーするために反射の回数が多くなり、その面精度誤差、偏心精度誤差が積算され転送されることから、個々の精度が厳しくなり、コストアップにつながり好ましくない。

また、同時に、像をリレーするために光学系全体の体積も大きくなり好ましくない。

また、特開平 9-222563 号では、複数のプリズムを用いた例を示しているが、像をリレーするために同様の理由からコストアップ、光学系の大型化につながり好ましくない。

また、特開平 9-211331 号では、プリズム 1 個を用いて光路を折り畳み光学系の小型化を図った例であるが、収差の補正が十分ではない。

また、特開平 8-292368 号、特開平 8-292372 号、特開平 9-222561 号、特開平 9-258105 号、特開平 9-258106 号のものでは、何れもズームレンズの例である。しかし、これらの例も、プリズム内部で像をリレーしているために反射の回数が多く、反射面の面精度誤差、偏心精度誤差が積算され転送され好ましくない。同時に、光学系の大型化も避けられず好ましくない。

また、特開平 10-20196 号のものは、正負の 2 群ズームレンズの正の前群を、絞りを挟んで物体側に負のパワーのプリズムで、像側を正のパワーのプリズムで構成した例である。また、負のプリズムと正のプリズムから構成される正の前群を 2 つに分割し、負正負の 3 群ズームレンズに構成した例も開示されている。しかし、これらの例で用いられるプリズムは、2 つの透過面、2 つの反射面が独立の面であるためにそのスペースを確保する必要上、また同時に、撮像面がライカサイズのフィルムフォーマットと大きいため、プリズム自体の大型化が避けられない。また、像側にテレセントリックの構成でないため、CCD 等の撮像素子への対応が難しい。また、何れのズームレンズの例も、プリズムを移動させることで変倍を行っているため、全ての変倍領域で性能を維持するために反射面の偏心精度が厳しくなり、コスト高になるという問題を有している。

一般の屈折光学系で所望の屈折力を得ようとする、その境界面で光学素子の色分散特性のために色収差が発生する。それを補正する目的と、他の光線収差を補正するために、屈折光学系は多くの構成要素を必要としてコスト高になるという問題を有している。また、同時に、光路が光軸に沿って直線になるために、光

学系全体が光軸方向に長くなってしまい、撮像装置が大型になってしまうという問題があった。

また、従来技術について述べたような偏心光学系では、結像された像の収差が良好に補正され、なおかつ、特に回転非対称なディストーションが良好に補正されていないと、結像された図形等が歪んで写ってしまい、正しい形状を再現することができないという問題があった。

さらに、偏心光学系に反射面を用いる場合は、屈折面に比してその偏心誤差感度は2倍になり、反射回数を増やせば増やすだけ偏心誤差が積算され転送される結果となり、反射面の面精度や偏心精度等の製作精度、組み立て精度が厳しくなるという問題もあった。

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、少ない光学素子の構成枚数で高性能、低コストな結像光学系を提供することである。

また、本発明のもう1つの目的は、少ない反射回数の反射面を用いて光路を折り畳むことにより小型化、薄型化された高性能な結像光学系を提供することである。

上記目的を達成する本発明の結像光学系は、物体像を形成する全体として正の屈折力を有する結像光学系において、

前記結像光学系が、屈折率 (n) が1よりも大きい ($n > 1$) 媒質で形成されたプリズム部材を有し、

前記プリズム部材が、物体からの光束をプリズム内に入射させる第1入射面と、プリズム内で光束を反射する第1反射面と第2反射面と第3反射面と第4反射面と、前記光束をプリズム外に射出する第1射出面とを有し、

前記第2反射面と前記第3反射面とを結ぶ光路が前記第1入射面と前記第1反射面とを結ぶ光路と交差すると共に、前記第2反射面と前記第3反射面とを結ぶ光路が前記第4反射面と前記第1射出面とを結ぶ光路と交差するように構成され

前記第1反射面と前記第2反射面との少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、前記第3反射面と前記第4反射面との少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、かつ、

前記第1反射面と前記第4反射面との間に中間像面を形成するように構成されていることを特徴とするものである。

以下、本発明において上記構成をとる理由と作用について順に説明する。

上記目的を達成するための本発明の結像光学系は、物体像を形成する全体として正の屈折力を有する結像光学系において、前記結像光学系が、屈折率(n)が1よりも大きい($n > 1$)媒質で形成されたプリズム部材を有し、前記プリズム部材が、物体からの光束をプリズム内に入射させる第1入射面と、プリズム内で光束を反射する第1反射面と第2反射面と第3反射面と第4反射面と、前記光束をプリズム外に射出する第1射出面とを有し、前記第2反射面と前記第3反射面とを結ぶ光路が前記第1入射面と前記第1反射面とを結ぶ光路と交差すると共に、前記第2反射面と前記第3反射面とを結ぶ光路が前記第4反射面と前記第1射出面とを結ぶ光路と交差するように構成されされていることを特徴とするものである。

レンズのような屈折光学素子は、その境界面に曲率を付けることにより始めてパワーを持たせることができる。そのため、レンズの境界面で光線が屈折する際に、屈折光学素子の色分散特性による色収差の発生が避けられない。その結果、色収差を補正する目的で別の屈折光学素子が付加されるのが一般的である。

一方、ミラーやプリズム等のような反射光学素子は、その反射面にパワーを持たせても原理的に色収差の発生はなく、色収差を補正する目的だけのために別の光学素子を付加する必要はない。そのため、反射光学素子を用いた光学系は、屈折光学素子を用いた光学系に比べて、色収差補正の観点から光学素子の構成枚数の削減が可能である。

同時に、反射光学素子を用いた反射光学系は、光路を折り畳むことになるために、屈折光学系に比べて光学系自身を小さくすることが可能である。

また、反射面は屈折面に比して偏心誤差感度が高いため、組み立て調整に高い精度を要求される。しかし、反射光学素子の中でも、プリズムはそれぞれの面の相対的な位置関係が固定されているので、プリズム単体として偏心を制御すればよく、必要以上の組み立て精度、調整工数が不要である。

さらに、プリズムは、屈折面である入射面と射出面、それと反射面を有しており、反射面しかもたないミラーに比べて、収差補正の自由度が大きい。特に、反射面に所望のパワーの大部分を分担させ、屈折面である入射面と射出面のパワーを小さくすることで、ミラーに比べて収差補正の自由度を大きく保ったまま、レンズ等のような屈折光学素子に比べて、色収差の発生を非常に小さくすることが可能である。また、プリズム内部は空気よりも屈折率の高い透明体で満たされているために、空気に比べ光路長を長くとることができ、空気中に配置されるレンズやミラー等よりは、光学系の薄型化、小型化が可能である。

本発明では、1個あるいは2個の偏心プリズムからなるプリズム部材を配置し、その物体側部分と像側部分により偏心収差をお互いに補正することにより、中心ばかりでなく軸外収差も良好に補正することを可能にしている。反射回数が各部分で1回の配置だと、偏心収差を完全に補正することは不可能である。

本発明は、以上の理由から、光束をプリズム部材内部で4回反射させるように構成し、その第1反射面と第4反射面との間の光路中に中間像面を形成するように構成されているものである。

また、本発明においては、軸上主光線はプリズム内（一体の1つのプリズム、あるいは、別体の2つのプリズムでもよい。）で2回略交差することが重要である。軸上主光線が光学系内で2回略交差することにより、光学系を折り曲げて小型にすることが可能となる。

本発明プリズム部材の物体側部分において、第1入射面と第1反射面と第2反射面とからなり、第2反射面と第3反射面とを結ぶ光路が第1入射面と第1反射面とを結ぶ光路と交差するようになっている。

このような形状のプリズム物体側部分は、収差補正の自由度が高くなり、収差の発生が少ない。さらに、プリズム物体側部分の2つの反射面（第1反射面、第2反射面）の配置の対称性が高いので、この2つの反射面で発生する収差が2つの反射面相互で補正し合い、収差発生が少ない。また、光路がプリズム物体側部分内で交差光路を形成する構成のために、単に光路を折り返す構造のプリズム形状に比較して光路長を長く取ることが可能で、光路長の長さの割にプリズム物体側部分を小型化することができる。さらに好ましくは、プリズム物体側部分の2つの反射面が異なる符号のパワーを持つことにより、収差の相互の補正効果を大きくすることが可能となり、高い解像力を得ることが可能となる。

また、プリズム物体側部分として、上記のように交差光路を形成するものを用いることにより、プリズム物体側部分を小型に構成することが可能となる。これは、同じ光路長をとる場合に、同じ2回反射タイプであってプリズム内でZ字型光路をとるプリズムよりスペースの利用効率が良いからである。Z字型光路をとるプリズム形状ではプリズム内の光線は必ず別の領域を通過して進んで行くが、プリズム内で光路が交差するプリズム形状では、同じ領域を2回通過することになり、プリズム形状を小型にすることが可能であるからである。

また、本発明プリズム部材の像側（結像面側）部分において、第3反射面と第4反射面と第1射出面とからなり、第2反射面と第3反射面とを結ぶ光路が第4反射面と第1射出面とを結ぶ光路と交差するようになっている。

このプリズム像側部分の構成は上記のプリズム物体側部分の構成と同様であり、同様に、収差補正の自由度が高くなり、収差の発生が少ない。さらに、プリズム像側部分の2つの反射面（第3反射面、第4反射面）の配置の対称性が高いので、この2つの反射面で発生する収差が2つの反射面相互で補正し合い、収差発生が少ない。また、光路がプリズム像側部分内で交差光路を形成する構成のために、単に光路を折り返す構造のプリズム形状に比較して光路長を長く取ることが可能で、光路長の長さの割にプリズム像側部分を小型化することができる。さらに好ましくは、プリズム像側部分の2つの反射面が異なる符号のパワーを持つことにより、収差の相互の補正効果を大きくすることが可能となり、高い解像力を

得ることが可能となる。

また、プリズム像側部分として、上記のように交差光路を形成するものを用いることにより、プリズム像側部分を小型に構成することが可能となる。これは、同じ光路長をとる場合に、同じ2回反射タイプであってプリズム内でZ字型光路をとるプリズムよりスペースの利用効率が良いからである。Z字型光路をとるプリズム形状ではプリズム内の光線は必ず別の領域を通過して進んで行くが、プリズム内で光路が交差するプリズム形状では、同じ領域を2回通過することになり、プリズム形状を小型にすることが可能であるからである。

ところで、本発明において、後記するように、プリズム部材を接合又は一体成形による1つのプリズムにて構成しても、また、プリズム物体側部分を構成する第1プリズムと、プリズム像側部分を構成する第2プリズムとから構成してもよい。

ここで、物点中心を通り、絞り中心を通過して像面中心に到達する光線を軸上主光線としたとき、本発明のプリズム部材の物体側部分の少なくとも1つの反射面、その像側部分の少なくとも1つの反射面が軸上主光線に対して偏心していないと、軸上主光線の入射光線と反射光線が同一の光路をとることとなり、軸上主光線が光学系中で遮断されてしまう。その結果、中心部が遮光された光束のみで像を形成することになり、中心が暗くなったり、中心では全く像を結ばなくなったりしてしまう。

また、本発明のプリズム部材の物体側部分の第1反射面と第2反射面との少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、その曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、かつ、その像側部分の第3反射面と第4反射面との少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、その曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成されているものである。

その理由を以下に詳述する。

まず、用いる座標系、回転非対称な面について説明する。

軸上主光線が、光学系の第1面に交差するまでの直線によって定義される光軸

をZ軸とし、そのZ軸と直交し、かつ、撮像光学系を構成する各面の偏心面内の軸をY軸と定義し、前記光軸と直交し、かつ、前記Y軸と直交する軸をX軸とする。光線の追跡方向は、物体から像面に向かう順光線追跡で説明する。

一般に、球面レンズでのみ構成された球面レンズ系では、球面により発生する球面収差と、コマ収差、像面湾曲等の収差をいくつかの面でお互いに補正しあい、全体として収差を少なくする構成になっている。

一方、少ない面数で収差を良好に補正するためには、回転対称非球面等が用いられる。これは、球面で発生する各種収差自体を少なくするためである。

しかし、偏心した光学系においては、偏心により発生する回転非対称な収差を回転対称光学系で補正することは不可能である。この偏心により発生する回転非対称な収差は、歪曲収差、像面湾曲、さらに、軸上でも発生する非点収差、コマ収差がある。

まず、回転非対称な像面湾曲について説明する。例えば、無限遠の物点から偏心した凹面鏡に入射した光線は、凹面鏡に当たって反射結像されるが、光線が凹面鏡に当たって以降、像面までの後側焦点距離は、像界側が空気の場合、光線が当たった部分の曲率半径の半分になる。すると、図17に示すように、軸上主光線に対して傾いた像面を形成する。このように、回転非対称な像面湾曲を補正するには回転対称な光学系では不可能である。

この傾いた像面湾曲をその発生源である凹面鏡M自身で補正するには、凹面鏡Mを回転非対称な面で構成し、この例ではY軸正の方向に対して曲率を強く（屈折力を強く）し、Y軸負の方向に対して曲率を弱く（屈折力を弱く）すれば、補正することができる。また、上記構成と同様な効果を持つ回転非対称な面を、凹面鏡Mとは別に光学系中に配置することにより、少ない構成枚数でフラットの像面を得ることが可能となる。

また、回転非対称な面は、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面とすることが、自由度が増え収差補正上は好ましい。

次に、回転非対称な非点収差について説明する。

上記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡Mでは、軸上光線に対しても図

18に示すような非点収差が発生する。この非点収差を補正するためには、上記説明と同様に、回転非対称面のX軸方向の曲率とY軸方向の曲率を適切に変えることによって可能となる。

さらに、回転非対称なコマ収差について説明する。

上記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡Mでは、軸上光線に対しても図19に示すようなコマ収差が発生する。このコマ収差を補正するためには、回転非対称面のX軸の原点から離れるに従って面の傾きを変えると共に、Y軸の正負によって面の傾きを適切に変えることによって可能となる。

また、本発明の結像光学系では、前述の反射作用を有する少なくとも1つの面が軸上主光線に対し偏心し、回転非対称な面形状でパワーを有する構成も可能である。このような構成をとれば、その反射面にパワーを持たせることで発生する偏心収差をその面自体で補正することが可能となり、プリズムの屈折面のパワーを緩めることで、色収差の発生自体を小さくすることができる。

また、本発明で用いる上記の回転非対称面は、対称面を1面のみ有する面对称自由曲面であることが好ましい。ここで、本発明で使用する自由曲面とは、以下の式(a)で定義されるものである。なお、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

$$Z = c r^2 / [1 + \sqrt{\{1 - (1+k) c^2 r^2\}}] + \sum_{j=2}^{\infty} C_j X^m Y^n \quad \dots (a)$$

ここで、(a)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。

球面項中、

c : 頂点の曲率

k : コーニック定数 (円錐定数)

$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$

である。

自由曲面項は、

• • • • •

また上記対称面の方向の何れか一方を対称面とし、それに対応する方向の偏心、例えば、 $Y-Z$ 面と平行な対称面に対して光学系の偏心方向は Y 軸方向に、 $X-Z$ 面と平行な対称面に対しては光学系の偏心方向は X 軸方向にすることで、偏

心により発生する回転非対称な収差を効果的に補正しながら同時に製作性をも向上させることが可能となる。

また、上記定義式（a）は、前述のように1つの例として示したものであり、本発明は、対称面を1面のみ有する回転非対称面を用いることで偏心により発生する回転非対称な収差を補正し、同時に製作性も向上させるということが特徴であり、他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。

また、本発明の結像光学系は、第1反射面と第4反射面との間に中間像面を形成する中間像結像タイプの結像光学系であり、第1入射面と第1反射面と第2反射面とによって三角形の軌道で光束が回転して第1の交差光路を形成すると共に、第3反射面と第4反射面と第1射出面とによって三角形の軌道で光束が回転して第2の交差光路を形成するものである。この際、第1の交差光路を形成する三角軌道の光束の回転方向と、第2の交差光路を形成する三角軌道の光束の回転方向とが同一方向であっても、逆方向であってもよい。もちろん、その回転面が相互に平行でなく交差するように構成することもできる。

また、第1反射面と第2反射面とを共に、光束にパワーを与える曲面形状を有し、その曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成することが望ましい。

また、第3反射面と第4反射面とを共に、光束にパワーを与えかつ偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することが望ましい。

また、第1入射面を、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することが望ましい。

また、第1射出面を、光束にパワーを与えかつ偏心により発生する収差を補正する回転非対称な面形状を有するように構成することが望ましい。

また、以上において、回転非対称な面形状としては、唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成することが望ましい。

その場合に、その面对称自由曲面の唯一の対称面が、第1の交差光路の軸上主

光線によって形成される面と一致するように構成することができる。

また、その面对称自由曲面の唯一の対称面が、第2の交差光路の軸上主光線によって形成される面と一致するように構成することができる。

また、中間像面が第2反射面と第3反射面との間に形成されるように構成することができる。

その場合に、中間像面が略平面形状に構成されるように、プリズム部材の中間像面よりも物体側の光学作用面が全体として偏心収差を補正すると共に、中間像面よりも結像面側の光学作用面が全体として偏心収差を補正するように構成することが望ましい。

さて、ここで偏心光学系及び光学面のパワーを定義する。図20に示すように、偏心光学系Sの偏心方向をY軸方向に取った場合に、偏心光学系Sの軸上主光線と平行なY-Z面内の微小な高さdの光線を物体側から入射し、偏心光学系Sから射出したその光線と軸上主光線のY-Z面に投影したときのなす角を δy とし、 $\delta y/d$ をY方向の偏心光学系Sのパワー P_y 、偏心光学系の軸上主光線と平行でY-Z面と直交するX方向の微小な高さdの光線を物体側から入射し、偏心光学系Sから射出したその光線と軸上主光線のY-Z面に直交する面であって軸上主光線を含む面に投影したときのなす角を δx とし、 $\delta x/d$ をX方向の偏心光学系Sのパワー P_x とする。同様に偏心光学系Sを構成する偏心光学面nのY方向のパワー P_{yn} 、X方向のパワー P_{xn} が定義される。

さらに、これらのパワーの逆数がそれぞれ偏心光学系のY方向の焦点距離 F_y 、偏心光学系のX方向の焦点距離 F_x 、偏心光学面nのY方向の焦点距離 F_{yn} 、X方向の焦点距離 F_{xn} と定義される。

プリズム物体側部分の交差する光路を構成する2つの反射面（第1反射面、第2反射面）のX方向のパワー、Y方向のパワーを物体側から順に P_{x1-1} 、 P_{y1-1} と P_{x1-2} 、 P_{y1-2} とし、全光学系のX方向のパワーを P_x 、Y方向のパワーを P_y とすると、

$$0.4 < P_{x1-1} / P_x < 1.1 \dots (1)$$

なる条件を満足することが重要である。この条件は、第1反射面の全系に対する

X方向のパワーの比を規定するものであり、下限の0.4を越えると、第1反射面での正パワーが小さくなりすぎ、他の面に正のパワーを負担させるために、収差性能が悪くなる。また、上限の1.1を越えると、今度は第1反射面が負担する正のパワーが強くなりすぎ、この面で発生する偏心収差が大きくなりすぎ、他の面で補正することが難しくなる。

さらに好ましくは、

$$0.6 < P_{x1-1} / P_x < 1.0 \quad \dots (1-1)$$

なる条件を満足することが重要である。

次に、

$$0.1 < P_{x1-2} / P_x < 0.6 \quad \dots (2)$$

なる条件を満足することが好ましい。この条件は、第2反射面の全系に対するX方向のパワーの比を規定するものであり、下限の0.1を越えると、第2反射面での正パワーが小さくなりすぎ、他の面に正のパワーを負担させるために、収差性能が悪くなる。また、上限の0.6を越えると、今度は第2反射面が負担する正のパワーが強くなりすぎ、この面で発生する偏心収差が大きくなりすぎ、他の面で補正することが難しくなる。

さらに好ましくは、

$$0.1 < P_{x1-2} / P_x < 0.4 \quad \dots (2-1)$$

なる条件を満足することが重要である。

次に、プリズム像側部分の交差する光路を構成する2つの反射面（第3反射面、第4反射面）のX方向のパワー、Y方向のパワーを物体側から順に P_{x2-1} 、 P_{y2-1} と P_{x2-2} 、 P_{y2-2} とし、全光学系のX方向のパワーを P_x 、Y方向のパワーを P_y とすると、

$$0.2 < P_{x2-1} / P_x < 1 \quad \dots (3)$$

なる条件を満足することが好ましい。この条件は、第3反射面の全系に対するX方向のパワーの比を規定するものであり、下限の0.2を越えると、第3反射面での正パワーが小さくなりすぎ、他の面に正のパワーを負担させるために、収差性能が悪くなる。また、上限の1を越えると、今度は第3反射面が負担する正の

パワーが強くなりすぎ、この面で発生する偏心収差が大きくなりすぎ、他の面で補正することが難しくなる。

さらに好ましくは、

$$0.2 < P_{x2-1} / P_x < 0.8 \quad \dots (3-1)$$

なる条件を満足することが重要である。

また、さらに好ましくは上記条件を全て満足することが良好な収差補正状態を得るには好ましい。

さらに、第3反射面のX方向のパワー P_{x2-1} とY方向のパワー P_{y2-1} の比を P_{x2-1} / P_{y2-1} とすると、

$$0.5 < P_{x2-1} / P_{y2-1} < 2.0 \quad \dots (4)$$

なる条件を満足することが好ましい。この条件は第3反射面のX方向とY方向のパワーの比を決めるものであり、下限の0.5を越えると、X方向のパワーがY方向に対して小さくなりすぎ、大きな偏心による非点収差が発生する。一方、上限の2.0を越えると、今度はX方向のパワーがY方向に対して大きくなりすぎ、逆方向の偏心により非点収差が発生してしまう。

さらに好ましくは、

$$0.5 < P_{x2-1} / P_{y2-1} < 1.5 \quad \dots (4-1)$$

なる条件を満足することが好ましい。

なお、本発明の結像光学系において、結像光学系のフォーカシングは、全体繰り出しやプリズムを移動することにより可能なのは言うまでもないが、最も像側の面（第1射出面）から射出した軸上主光線の方に結像面を移動させることによりフォーカシングすることが可能である。これにより、結像光学系が偏心することで物体からの軸上主光線の入射方向と最も像側の面から射出する軸上主光線の方とが一致していなくても、フォーカシングによる軸上主光線の入射側のずれを防ぐことができる。また、平行平板を複数の楔状のプリズムに分割し、それをZ軸と垂直方向に移動させることでフォーカシングすることも可能である。この場合も、結像光学系の偏心にはよらずフォーカシングが可能である。

また、本発明において、プリズム物体側部分とプリズム像側部分の材質を異な

るもので構成することにより温度補償をすることができる。特に、プリズムの材質にプラスチックを用いた場合に問題になる、温度変化による焦点ずれを防ぐためには、それらのプリズム部分に異符号のパワーを持たせることでそれが可能となる。

また、本発明において、2つのプリズム部分を接合して構成する場合に、光学作用を有さない面にそれぞれの相対的位置決め部を設けていることが望ましい。特に、本発明のような反射面にパワーを持たせたプリズム部分を2個接合する場合、その相対的な位置精度のずれが性能劣化の原因となる。そこで、本発明では、プリズムの光学作用を有さない面に相対的位置決め部を設けることで、位置精度の確保を行い、所望の性能を確保することが可能となる。特に、その位置決め部を用い、連結部材により2個のプリズムを一体化すれば、組み立て調整が不要となり、さらに、コストダウンが図られる。

また、本発明の結像光学系の入射面より物体側にミラー等の反射光学部材を用いて、本発明の結像光学系の偏心方向とは異なった向きに光路を折り畳むことも可能である。これにより、さらに結像光学系のレイアウトの自由度が増え、結像光学装置全体の小型化が図られる。

また、本発明において、結像光学系をプリズムのみから構成することも可能である。これにより部品点数が減り、コストダウンが図られる。さらに、絞りの前後で2個のプリズムを一体化し、1つのプリズムとすることも当然可能である。これにより、さらなるコストダウンが可能である。

また、本発明において、プリズム以外に、その物体側あるいは像側の何れかあるいは両側に他のレンズ（正レンズ、負レンズ）を構成要素として含んでもよい。

また、本発明の結像光学系は、明るい単焦点レンズであることが可能である。また、プリズムの物体側、2つのプリズム間、あるいは、像側に単数あるいは複数の屈折光学系を組み合わせるズームレンズ（変倍結像光学系）とすることもできる。

また、本発明において、結像光学系の屈折面、反射面を球面あるいは回転対称

非球面で構成することも当然可能である。

また、本発明のプリズムの全反射面以外の反射面は、アルミニウム又は銀等の金属薄膜を表面に形成した反射面、又は、誘電体多層膜の形成された反射面で構成することが好ましい。金属薄膜で反射作用を有する場合は、手軽に高反射率を得ることが可能となる。また、誘電体反射膜の場合は、波長選択性や吸収の少ない反射膜を形成する場合に有利となる。

これにより、プリズムの製作精度が緩和された低コストな小型の結像光学系を得ることが可能である。

なお、本発明の以上の結像光学系を撮像装置の撮像部に配置する場合、あるいは、その撮影装置がカメラ機構を備えている場合に、プリズム部材を光学作用を持つ光学素子の中で最も物体側に配置し、そのプリズム部材の入射面を光軸に対して偏心して配置し、そのプリズム部材よりも物体側に光軸に対して垂直に配置したカバー部材を配置する構成にすることができ、また、プリズム部材が物体側に光軸に対して偏心配置された入射面を備えるように構成し、その入射面と空気間隔を挟んで光軸と同軸上に配置されたパワーを有するカバーレンズをその入射面よりも物体側に配置する構成にすることができる。

このように、プリズム部材が最も物体側に配置され、偏心入射面が撮影装置前面に備えられると、被写体からは斜めに傾いた入射面が見えるため、被写体からずれた位置を中心に撮影しているかのような違和感を与えてしまうことになる。そこで、光軸に垂直なカバー部材又はカバーレンズを配置して、一般の撮影装置と同様、撮影する被写体に違和感を感じない撮影ができる。

以上のような本発明の何れかの結像光学系をファインダー対物光学系として配置し、さらに、そのファインダー対物光学系によって形成された物体像を正立正像させる像正立光学系と、接眼光学系とからファインダー光学系を構成することができる。

また、そのファインダー光学系と、それと併設された撮影用対物光学系とを備えてカメラ装置を構成することができる。

また、以上のような本発明の何れかの結像光学系と、その結像光学系によって

形成される像面上に配置された撮像素子とを備えて撮像光学系を構成することができる。

また、以上のような本発明の何れかの結像光学系を撮影用対物光学系として配置し、その撮影用光学系とは別の光路、又は、その撮影用対物光学系の光路から分割された光路の何れかの中に配置されたファインダー光学系を備えてカメラ装置を構成することができる。

また、以上のような本発明の何れかの結像光学系と、その結像光学系によって形成される像面上に配置された撮像素子と、その撮像素子で受光された像情報を記録する記録媒体と、その記録媒体又は撮像素子からの像情報を受けて観察像を形成する画像表示素子とを備えて電子カメラ装置を構成することができる。

また、以上のような本発明の何れかの結像光学系と、その結像光学系によって形成される像を長軸方向に沿って伝達する像伝達部材とを有する観察系と、照明光源及びその照明光源からの照明光を前記長軸方向に沿って伝達する照明光伝達部材を有する照明系とを備えて内視鏡装置を構成することができる。

Still other objects and advantages of the invention will in part be obvious and will in part be apparent from the specification.

The invention accordingly comprises the features of construction, combinations of elements, and arrangement of parts which will be exemplified in the construction hereinafter set forth, and the scope of the invention will be indicated in the claims.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図 1 は本発明の実施例 1 の結像光学系の断面図である。

図 2 は本発明の実施例 2 の結像光学系の断面図である。

図 3 は本発明の実施例 3 の結像光学系の断面図である。

図 4 は本発明の実施例 4 の結像光学系の断面図である。

図 5 は本発明の実施例 5 の結像光学系の断面図である。

図 6 は本発明の実施例 6 の結像光学系の断面図である。

図 7 は本発明の実施例 7 の結像光学系の断面図である。

図 8 は本発明の実施例 8 の結像光学系の断面図である。

図 9 は実施例 1 の結像光学系の横収差図である。

図 10 は本発明の結像光学系を適用した電子カメラの外観を示す前方斜視図である。

図 11 は図 10 の電子カメラの後方斜視図である。

図 12 は図 10 の電子カメラの構成を示す断面図である。

図 13 は本発明の結像光学系を適用した別の電子カメラの概念図である。

図 14 は本発明の結像光学系を適用した電子内視鏡の概念図である。

図 15 はプレゼンテーションシステムの投影光学系に本発明によるプリズム光学系を用いた構成の概念図である。

図 16 は本発明による結像光学系を撮像素子前方に配置するときの望ましい構成を示す図である。

図 17 は偏心した反射面により発生する像面湾曲を説明するための概念図である。

図 18 は偏心した反射面により発生する非点収差を説明するための概念図である。

図 19 は偏心した反射面により発生するコマ収差を説明するための概念図である。

図 20 は偏心光学系及び光学面のパワーの定義を説明するための図である。

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

以下、本発明の結像光学系の実施例 1～8 について説明する。なお、各実施例の構成パラメータは後に示す。

実施例 1～4 においては、図 1 に示すように、軸上主光線 1 を物体中心を出て、絞り 2 の中心を通り、像面 3 中心に到る光線で定義する。そして、軸上主光線 1 とプリズム 10 の第 1 入射面 (第 1 面) 11 と第 1 射出面 16 との交点を通り、第 1 入射面 11 についてはその面に入射する軸上主光線 1 に垂直に、第 1 射出

面 1 6 についてはその面から射出する軸上主光線 1 に垂直に、それぞれ仮想面をとる。各仮想面の交点を、その交点を通る光学面から次の仮想面（最後の仮想面について像面）までの間の偏心光学面の原点として、入射面の交点について定められた仮想面の場合は、入射する軸上主光線 1、射出面の交点について定められた仮想面の場合は、射出する軸上主光線 1 に沿う方向を Z 軸方向とし、軸上主光線 1 とプリズム 1 0 の第 1 入射面（第 1 面）1 1 との交点を通る第 1 仮想面に関しては、軸上主光線 1 の進行方向に沿った方向を Z 軸正方向とし、第 1 射出面 1 6 に関する仮想面とについては、第 1 仮想面からその仮想面に到る光路中の反射回数が偶数回の場合には軸上主光線 1 の進行方向に沿った方向を Z 軸正方向とし、反射回数が奇数回の場合には軸上主光線 1 の進行方向と反対方向を Z 軸正方向とし、この Z 軸と像面中心を含む平面を Y-Z 平面とし、原点を通り Y-Z 平面に直交し、紙面の手前から裏面側に向かう方向を X 軸正方向とし、X 軸、Z 軸と右手直交座標系を構成する軸を Y 軸とする。図 1 には、各仮想面と第 1 入射面 1 1 の交点について定められた第 1 仮想面に関する座標系とを図示してある。図 2 ～図 4 については、これら仮想面と座標系の図示は省く。

また、実施例 5 ～ 8 においては、図 5 に示すように、軸上主光線 1 を物体中心を出て、絞り 2 の中心を通り、像面 3 中心に到る光線で定義する。そして、軸上主光線 1 と第 1 プリズム 2 1 の第 1 入射面（第 1 面）1 1、第 1 プリズム 2 1 の射出面 1 7、第 2 プリズム 2 2 の入射面 1 8、第 1 射出面 1 6 との交点を通り、第 1 入射面 1 1、第 2 プリズム 2 2 の入射面 1 8 についてはその面に入射する軸上主光線 1 に垂直に、第 1 プリズム 2 1 の射出面 1 7、第 2 プリズム 2 2 の第 1 射出面 1 6 についてはその面から射出する軸上主光線 1 に垂直に、それぞれ仮想面をとる。各仮想面の交点を、その交点を通る光学面から次の仮想面（最後の仮想面について像面）までの間の偏心光学面の原点として、入射面の交点について定められた仮想面の場合は、入射する軸上主光線 1、射出面の交点について定められた仮想面の場合は、射出する軸上主光線 1 に沿う方向を Z 軸方向とし、軸上主光線 1 と第 1 プリズム 2 1 の第 1 入射面（第 1 面）1 1 との交点を通る第 1 仮想面に関しては、軸上主光線 1 の進行方向に沿った方向を Z 軸正方向とし、その

他の仮想面については、第1仮想面からその仮想面に到る光路中の反射回数が偶数回の場合には軸上主光線1の進行方向に沿った方向をZ軸正方向とし、反射回数が奇数回の場合には軸上主光線1の進行方向と反対方向をZ軸正方向とし、このZ軸と像面中心を含む平面をY-Z平面とし、原点を通りY-Z平面に直交し、紙面の手前から裏面側に向かう方向をX軸正方向とし、X軸、Z軸と右手直交座標系を構成する軸をY軸とする。図5には、各仮想面と第1入射面11の交点について定められた第1仮想面に関する座標系とを図示してある。図6～図8については、これら仮想面と座標系の図示は省く。

実施例1～8では、このY-Z平面内で各面の偏心を行っており、また、各回転非対称自由曲面の唯一の対称面をY-Z面としている。

偏心面については、対応する座標系の原点から、その面の面頂位置の偏心量（X軸方向、Y軸方向、Z軸方向をそれぞれX、Y、Z）と、その面の中心軸（自由曲面については、前記（a）式のZ軸）のX軸、Y軸、Z軸それぞれを中心とする傾き角（それぞれ α 、 β 、 γ （°））とが与えられている。なお、その場合、 α と β の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 γ の正はZ軸の正方向に対して時計回りを意味する。

また、各実施例の光学系を構成する光学作用面の中、特定の面（仮想面を含む。）とそれに続く面が共軸光学系を構成する場合には、面間隔が与えられており、その他、媒質の屈折率、アッペ数が慣用法に従って与えられている。なお、面間隔の符号については、第1仮想面からその基準の光学面（仮想面を含む。）に到る光路中の反射回数が偶数回の場合には正の値、奇数回の場合には負の値として示されているが、軸上主光線1の進行方向に沿っての距離は、何れも正の値である。

また、本発明で用いられる自由曲面の面の形状は前記（a）式により定義し、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

なお、データの記載されていない自由曲面に関する項は0である。屈折率については、d線（波長587.56 nm）に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。

また、自由曲面の他の定義式として、以下の (b) 式で与えられる Z e r n i k e 多項式がある。この面の形状は以下の式により定義する。その定義式の Z 軸が Z e r n i k e 多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、X-Y 面に対する Z の軸の高さの極座標で定義され、A は X-Y 面内の Z 軸からの距離、R は Z 軸回りの方位角で、Z 軸から測った回転角で表せられる。

$$\begin{aligned}
 x &= R \times \cos(A) \\
 y &= R \times \sin(A) \\
 Z &= D_2 \\
 &+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) \\
 &+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) \\
 &+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) \\
 &\quad + D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) \\
 &+ D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) \\
 &\quad + D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) \\
 &\quad + D_{16} R^4 \sin(4A) \\
 &+ D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A) \\
 &\quad + D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A) \\
 &\quad + D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A) \\
 &\quad + D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A) \\
 &+ D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6R^6 - 5R^4) \cos(4A) \\
 &\quad + D_{25} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2A) \\
 &\quad + D_{26} (20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1) \\
 &\quad + D_{27} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2A) \\
 &\quad + D_{28} (6R^6 - 5R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \cdot \cdot \cdot \cdot \\
 &\quad \cdot \cdot \cdot (b)
 \end{aligned}$$

なお、X 軸方向に対称な光学系として設計するには、 D_4 , D_5 , D_6 、 D_{10}

~~0 , D_{11} , D_{12} , D_{13} , D_{14} , D_{20} , D_{21} , D_{22} ...~~ を利用する。

その他の面の例として、次の定義式 (c) があげられる。

$$Z = \sum \sum C_{nm} X^m Y^n$$

例として、 $k=7$ （7次項）を考えると、展開したとき、以下の式で表せる。

$$\begin{aligned} Z = & C_2 \\ & + C_3 y + C_4 |x| \\ & + C_5 y^2 + C_6 y |x| + C_7 x^2 \\ & + C_8 y^3 + C_9 y^2 |x| + C_{10} y x^2 + C_{11} |x^3| \\ & + C_{12} y^4 + C_{13} y^3 |x| + C_{14} y^2 x^2 + C_{15} y |x^3| + C_{16} x^4 \\ & + C_{17} y^5 + C_{18} y^4 |x| + C_{19} y^3 x^2 + C_{20} y^2 |x^3| \\ & \quad + C_{21} y x^4 + C_{22} |x^5| \\ & + C_{23} y^6 + C_{24} y^5 |x| + C_{25} y^4 x^2 + C_{26} y^3 |x^3| \\ & \quad + C_{27} y^2 x^4 + C_{28} y |x^5| + C_{29} x^6 \\ & + C_{30} y^7 + C_{31} y^6 |x| + C_{32} y^5 x^2 + C_{33} y^4 |x^3| \\ & \quad + C_{34} y^3 x^4 + C_{35} y^2 |x^5| + C_{36} y x^6 + C_{37} |x^7| \\ & \quad \dots (c) \end{aligned}$$

なお、本発明の実施例では、前記（a）式を用いた自由曲面で面形状が表現されているが、上記（b）式、（c）式を用いても同様の作用効果を得られるのは言うまでもない。

実施例1～8は何れも、撮影画角が、水平半画角 26.3° 、垂直半画角 20.3° 、像高は $1.6 \times 1.2 \text{ mm}$ であり、入射瞳径 1.15 mm 、焦点距離 3.24 mm 、Fナンバーは 2.8 、銀塩カメラに換算すると、焦点距離 35 mm に相当する。また、本発明は、本発明の結像光学系を用いた撮像光学系のみならず、その光学系を組み込んだ撮像装置等も含むものである。

実施例1、3

実施例1、3の軸上主光線を含むY-Z断面図をそれぞれ図1、図3に示す。これらの実施例の構成パラメータは後記するが、自由曲面はFFSで、仮想面はHRP（仮想基準面）で示しており、これ以外の実施例についても同様である。

実施例1、3は、物体側から光の通る順に、絞り2、プリズム10の物体側部

分、プリズム10の像側部分、像面（結像面）3からなり、プリズム10の物体側部分は、第1入射面11と、第1反射面12と、第2反射面13とからなり、その順に光線は透過、反射する。第1反射面12へ入射する光線と第2反射面13から反射された光線がプリズム10中で交差している。この物体側部分による中間像面4（ただし、図1～図8の中間像面4は中間像点を通り軸上主光線1に垂直に形式的にとっているが、実際にはこの中間像点を通る回転非対称な曲面形状をしている。）が第2反射面13の後に形成される。中間像面4はプリズム10の像側部分により像面3に結像されるが、そのプリズム10の像側部分は、第3反射面14と、第4反射面15と、第1射出面16とからなり、その順に光線は反射、透過する。また、第3反射面14へ入射する光線と第4反射面15から反射された光線がプリズム10中で交差している。これらの実施例では、第1入射面11と第1反射面12と第2反射面13とによって形成される三角形の交差光路の光束の回転方向と、第3反射面14と第4反射面15と第1射出面16とによって形成される三角形の交差光路の光束の回転方向とは逆方向になっている。

また、後記する構成パラメータの第3面から第9面までは第2面の仮想面1を基準とした偏心量で表されており、像面は第9面の仮想面2からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されている。

実施例2、4

実施例2、4の軸上主光線を含むY-Z断面図をそれぞれ図2、図4に示す。これらの実施例の構成パラメータは後記する。

実施例2、4は、物体側から光の通る順に、絞り2、プリズム10の物体側部分、プリズム10の像側部分、像面（結像面）3からなり、プリズム10の物体側部分は、第1入射面11と、第1反射面12と、第2反射面13とからなり、その順に光線は透過、反射する。第1反射面12へ入射する光線と第2反射面13から反射された光線がプリズム10中で交差している。この物体側部分による中間像面4が第2反射面13の後に形成される。中間像面4はプリズム10の像側部分により像面3に結像されるが、そのプリズム10の像側部分は、第3反射

面 1 4 と、第 4 反射面 1 5 と、第 1 射出面 1 6 とからなり、その順に光線は反射、透過する。また、第 3 反射面 1 4 へ入射する光線と第 4 反射面 1 5 から反射された光線がプリズム 1 0 中で交差している。これらの実施例では、第 1 入射面 1 1 と第 1 反射面 1 2 と第 2 反射面 1 3 とによって形成される三角形の交差光路の光束の回転方向と、第 3 反射面 1 4 と第 4 反射面 1 5 と第 1 射出面 1 6 とによって形成される三角形の交差光路の光束の回転方向とは同方向になっている。

また、後記する構成パラメータの第 3 面から第 9 面までは第 2 面の仮想面 1 を基準とした偏心量で表されており、像面は第 9 面の仮想面 2 からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されている。

実施例 5、7

実施例 5、7 の軸上主光線を含む Y-Z 断面図をそれぞれ図 5、図 7 に示す。これらの実施例の構成パラメータは後記する。

実施例 5、7 は、物体側から光の通る順に、絞り 2、第 1 プリズム 2 1、第 2 プリズム 2 2、像面（結像面）3 からなり、第 1 プリズム 2 1 は、第 1 入射面 1 1 と、第 1 反射面 1 2 と、第 2 反射面 1 3 と、第 2 射出面 1 7 とからなり、その順に光線は透過、反射、透過する。第 1 反射面 1 2 へ入射する光線と第 2 反射面 1 3 から反射された光線が第 1 プリズム 2 1 中で交差している。この第 1 入射面 1 1 と第 1 反射面 1 2 と第 2 反射面 1 3 による中間像面 4 が第 2 反射面 1 3 と第 2 透過面 1 7 の間に形成される。中間像面 4 は第 2 透過面 1 7 と第 2 プリズム 2 2 により像面 3 に結像されるが、その第 2 プリズム 2 2 は、第 2 入射面 1 8 と、第 3 反射面 1 4 と、第 4 反射面 1 5 と、第 1 射出面 1 6 とからなり、その順に光線は透過、反射、透過する。また、第 3 反射面 1 4 へ入射する光線と第 4 反射面 1 5 から反射された光線が第 2 プリズム 2 2 中で交差している。これらの実施例では、第 1 入射面 1 1 と第 1 反射面 1 2 と第 2 反射面 1 3 とによって形成される三角形の交差光路の光束の回転方向と、第 3 反射面 1 4 と第 4 反射面 1 5 と第 1 射出面 1 6 とによって形成される三角形の交差光路の光束の回転方向とは逆方向になっている。

また、後記する構成パラメータの第3面から第7面までは第2面の仮想面1を基準とした偏心量で表されており、第8面（仮想面3）の面頂位置は第7面の仮想面2からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されており、第9面から第13面までは第8面の仮想面3を基準とした偏心量で表されており、像面は第13面の仮想面4からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されている。

実施例6、8

実施例6、8の軸上主光線を含むY-Z断面図をそれぞれ図6、図8に示す。これらの実施例の構成パラメータは後記する。

実施例6、8は、物体側から光の通る順に、絞り2、第1プリズム21、第2プリズム22、像面（結像面）3からなり、第1プリズム21は、第1入射面11と、第1反射面12と、第2反射面13と、第2射出面17とからなり、その順に光線は透過、反射、透過する。第1反射面12へ入射する光線と第2反射面13から反射された光線が第1プリズム21中で交差している。この第1入射面11と第1反射面12と第2反射面13による中間像面4が第2反射面13と第2透過面17の間に形成される。中間像面4は第2透過面17と第2プリズム22により像面3に結像されるが、その第2プリズム22は、第2入射面18と、第3反射面14と、第4反射面15と、第1射出面16とからなり、その順に光線は透過、反射、透過する。また、第3反射面14へ入射する光線と第4反射面15から反射された光線が第2プリズム22中で交差している。これらの実施例では、第1入射面11と第1反射面12と第2反射面13とによって形成される三角形の交差光路の光束の回転方向と、第3反射面14と第4反射面15と第1射出面16とによって形成される三角形の交差光路の光束の回転方向とは同方向になっている。

また、後記する構成パラメータの第3面から第7面までは第2面の仮想面1を基準とした偏心量で表されており、第8面（仮想面3）の面頂位置は第7面の仮想面2からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されており、第9面から第13面までは第8面の仮想面3を基準とした偏心量で表されており、像面は第13面の仮想面4からの軸上主光線に沿った面間隔のみによって表されている。

以下に上記実施例1～8の構成パラメータを示す。これら表中の“F F S”は自由曲面、“H R P”は仮想面を示す。

Example 1

Surface No.	Radius of curvature	Surface separation	Displacement and tilt	Refractive index	Abbe's No.
Object plane	∞	-1000.00			
1	∞ (Stop)	0.10			
2	∞ (H R P 1)				
3	F F S①		(1)	1.4924	57.6
4	F F S②		(2)	1.4924	57.6
5	F F S③		(3)	1.4924	57.6
6	F F S④		(4)	1.4924	57.6
7	F F S⑤		(5)	1.4924	57.6
8	F F S⑥		(6)		
9	∞ (H R P 2)	2.60	(7)		
Image plane	∞				

F F S①

$$C_4 \quad 1.4745 \times 10^{-1} \quad C_6 \quad 7.9582 \times 10^{-2}$$

F F S②

$$C_4 \quad -3.9949 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad -1.8820 \times 10^{-2}$$

F F S③

$$C_4 \quad 3.7493 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 3.8549 \times 10^{-2}$$

F F S④

$$C_4 \quad -7.7376 \times 10^{-3} \quad C_6 \quad -7.8124 \times 10^{-3}$$

F F S⑤

$$C_4 \quad 3.9556 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 3.7486 \times 10^{-2}$$

FFS⑥

$C_4 \quad 1.8864 \times 10^{-3} \quad C_6 \quad 1.4064 \times 10^{-2}$

Displacement and tilt(1)

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00

α 13.83 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(2)

X 0.00 Y -1.06 Z 6.53

α 13.29 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(3)

X 0.00 Y -3.99 Z 2.47

α 58.29 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(4)

X 0.00 Y 0.00 Z 9.94

α -22.50 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(5)

X 0.00 Y 3.16 Z 6.79

α -67.50 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(6)

X 0.00 Y -1.73 Z 6.79

α -105.63 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(7)

X 0.00 Y -1.73 Z 6.79

α -81.92 β 0.00 γ 0.00

Example 2

Surface Radius of Surface Displacement Refractive Abbe's No.

No. curvature separation and tilt index

Object ∞ -1000.00

plane				
1	∞ (Stop)	0.10		
2	∞ (HRP 1)			
3	FFS①	(1)	1.4924	57.6
4	FFS②	(2)	1.4924	57.6
5	FFS③	(3)	1.4924	57.6
6	FFS④	(4)	1.4924	57.6
7	FFS⑤	(5)	1.4924	57.6
8	FFS⑥	(6)		
9	∞ (HRP 2)	3.48	(7)	

Image ∞

plane

FFS①

$$C_4 \quad 1.1940 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad -1.0089 \times 10^{-2}$$

FFS②

$$C_4 \quad -3.9281 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad -3.8396 \times 10^{-2}$$

FFS③

$$C_4 \quad 2.2247 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 2.7872 \times 10^{-2}$$

FFS④

$$C_4 \quad -2.7563 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad -3.4063 \times 10^{-2}$$

FFS⑤

$$C_4 \quad 2.2540 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 2.6264 \times 10^{-3}$$

FFS⑥

$$C_4 \quad -4.4925 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad -3.3645 \times 10^{-2}$$

Displacement and tilt(1)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.00$$

$$\alpha \quad -31.21 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(2)

X 0.00 Y 1.69 Z 4.55
 α 42.82 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(3)

X 0.00 Y -1.46 Z 3.11
 α 87.82 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(4)

X 0.00 Y 0.00 Z 10.15
 α 22.50 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(5)

X 0.00 Y -3.49 Z 6.66
 α 67.50 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(6)

X 0.00 Y 2.18 Z 6.66
 α 110.74 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(7)

X 0.00 Y 2.18 Z 6.66
 α 78.84 β 0.00 γ 0.00

Example 3

Surface No.	Radius of curvature	Surface separation	Displacement and tilt	Refractive index	Abbe's No.
Object plane	∞	-1000.00			
1	∞ (Stop)	0.10			
2	∞ (HRP 1)				
3	FFS①	(1)	1.4924	57.6	
4	FFS②	(2)	1.4924	57.6	
5	FFS③	(3)	1.4924	57.6	

6	FFS④	(4)	1.4924	57.6
7	FFS⑤	(5)	1.4924	57.6
8	FFS⑥	(6)		
9	∞ (HRP 2)	2.03	(7)	
Image plane	∞			

FFS①

$$\begin{array}{lll} C_4 & 8.5814 \times 10^{-2} & C_6 \quad 9.7753 \times 10^{-3} \quad C_8 \quad 4.9999 \times 10^{-3} \\ C_{13} & -5.7617 \times 10^{-4} & \end{array}$$

FFS②

$$\begin{array}{lll} C_4 & -4.0084 \times 10^{-2} & C_6 \quad -1.4944 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 1.9913 \times 10^{-3} \\ C_{10} & -7.0248 \times 10^{-6} & C_{11} \quad 6.2670 \times 10^{-4} \quad C_{13} \quad -1.9283 \times 10^{-4} \\ C_{15} & -9.5320 \times 10^{-5} & \end{array}$$

FFS③

$$\begin{array}{lll} C_4 & 1.0574 \times 10^{-2} & C_6 \quad 3.7396 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 6.2001 \times 10^{-3} \\ C_{10} & 6.0873 \times 10^{-4} & C_{11} \quad 4.6910 \times 10^{-4} \quad C_{13} \quad -9.8193 \times 10^{-4} \\ C_{15} & -2.9008 \times 10^{-4} & \end{array}$$

FFS④

$$\begin{array}{lll} C_4 & -2.8107 \times 10^{-2} & C_6 \quad -2.1096 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 3.3309 \times 10^{-4} \\ C_{10} & 1.2654 \times 10^{-3} & C_{11} \quad 1.3182 \times 10^{-4} \quad C_{13} \quad 5.2249 \times 10^{-4} \\ C_{15} & 1.8213 \times 10^{-4} & \end{array}$$

FFS⑤

$$\begin{array}{lll} C_4 & 2.8668 \times 10^{-2} & C_6 \quad 3.3258 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad -6.3656 \times 10^{-4} \\ C_{10} & -4.3304 \times 10^{-4} & C_{11} \quad 1.7981 \times 10^{-5} \quad C_{13} \quad 4.1170 \times 10^{-4} \\ C_{15} & 1.1474 \times 10^{-4} & \end{array}$$

FFS⑥

$$\begin{array}{lll} C_4 & -4.5920 \times 10^{-3} & C_6 \quad -3.4434 \times 10^{-3} \quad C_8 \quad -2.4885 \times 10^{-2} \\ C_{13} & 7.8349 \times 10^{-3} & \end{array}$$

Displacement and tilt(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	2.31	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(2)

X	0.00	Y	-0.17	Z	6.18
α	25.20	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(3)

X	0.00	Y	-3.90	Z	3.25
α	70.97	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(4)

X	0.00	Y	0.00	Z	8.46
α	-19.10	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(5)

X	0.00	Y	2.63	Z	5.11
α	-68.53	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(6)

X	0.00	Y	-2.08	Z	4.38
α	-100.20	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(7)

X	0.00	Y	-2.08	Z	4.38
α	-98.20	β	0.00	γ	0.00

Example 4

Surface No.	Radius of curvature	Surface separation	Displacement and tilt	Refractive index	Abbe's No.
Object plane	∞	-1000.00			
1	∞ (Stop)	0.10			

2	∞ (HRP 1)			
3	FFS①	(1)	1.4924	57.6
4	FFS②	(2)	1.4924	57.6
5	FFS③	(3)	1.4924	57.6
6	FFS④	(4)	1.4924	57.6
7	FFS⑤	(5)	1.4924	57.6
8	FFS⑥	(6)		
9	∞ (HRP 2)	2.84	(7)	

Image ∞
plane

FFS①

C_4	5.0413×10^{-2}	C_6	-3.7336×10^{-2}	C_8	4.9418×10^{-2}
C_{10}	-1.4142×10^{-2}	C_{11}	1.3334×10^{-2}	C_{13}	2.3396×10^{-2}
C_{15}	-1.8589×10^{-4}				

FFS②

C_4	-4.0862×10^{-2}	C_6	-3.8025×10^{-2}	C_8	1.5530×10^{-4}
C_{10}	-1.3834×10^{-3}	C_{11}	3.2358×10^{-4}	C_{13}	-2.4997×10^{-4}
C_{15}	-1.5955×10^{-4}				

FFS③

C_4	1.2784×10^{-2}	C_6	3.6059×10^{-2}	C_8	7.7983×10^{-3}
C_{10}	2.9294×10^{-3}				

FFS④

C_4	-1.6942×10^{-2}	C_6	-2.7882×10^{-2}	C_8	-1.8823×10^{-3}
C_{10}	4.5839×10^{-4}	C_{11}	1.7036×10^{-4}	C_{13}	5.5053×10^{-5}
C_{15}	4.1621×10^{-5}				

FFS⑤

C_4	3.7553×10^{-2}	C_6	2.0240×10^{-2}	C_8	-9.7555×10^{-4}
C_{10}	1.7498×10^{-3}	C_{11}	5.4919×10^{-5}	C_{13}	-4.5536×10^{-5}

$$C_{15} \quad 1.2522 \times 10^{-4}$$

FFS⑥

$$C_4 \quad 8.8112 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 1.2154 \times 10^{-1} \quad C_8 \quad -7.5941 \times 10^{-2}$$

$$C_{10} \quad -5.8052 \times 10^{-3} \quad C_{11} \quad 9.6458 \times 10^{-3} \quad C_{13} \quad -2.7619 \times 10^{-3}$$

$$C_{15} \quad 1.4379 \times 10^{-2}$$

Displacement and tilt(1)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.00$$

$$\alpha \quad -15.02 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(2)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.89 \quad Z \quad 5.03$$

$$\alpha \quad 32.50 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(3)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad -2.26 \quad Z \quad 2.83$$

$$\alpha \quad 77.50 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(4)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 10.89$$

$$\alpha \quad 22.50 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(5)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad -3.21 \quad Z \quad 7.68$$

$$\alpha \quad 67.50 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(6)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 1.90 \quad Z \quad 7.68$$

$$\alpha \quad 102.09 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(7)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 1.90 \quad Z \quad 7.68$$

$$\alpha \quad 83.87 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Example 5

Surface No.	Radius of curvature	Surface separation	Displacement and tilt	Refractive index	Abbe's No.
Object plane	∞	-1000.00			
1	∞ (Stop)	0.10			
2	∞ (HRP 1)				
3	FFS①		(1)	1.4924	57.6
4	FFS②		(2)	1.4924	57.6
5	FFS③		(3)	1.4924	57.6
6	FFS④		(4)		
7	∞ (HRP 2)	1.07	(5)		
8	∞ (HRP 3)				
9	FFS⑤		(6)	1.4924	57.6
10	FFS⑥		(7)	1.4924	57.6
11	FFS⑦		(8)	1.4924	57.6
12	FFS⑧		(9)		
13	∞ (HRP 4)	2.07	(10)		
Image plane	∞				
	FFS①				
C_4	9.9415×10^{-2}	C_6	-1.0251×10^{-2}		
	FFS②				
C_4	-3.1777×10^{-2}	C_6	-4.1381×10^{-2}		
	FFS③				
C_4	1.0921×10^{-2}	C_6	1.9864×10^{-3}		
	FFS④				
C_4	-1.3947×10^{-1}	C_6	-8.2631×10^{-2}		
	FFS⑤				

$$C_4 \quad -1.7628 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 8.3247 \times 10^{-2}$$

FFS⑥

$$C_4 \quad -1.3188 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad -2.2426 \times 10^{-2}$$

FFS⑦

$$C_4 \quad 3.3408 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 1.6172 \times 10^{-2}$$

FFS⑧

$$C_4 \quad -2.0179 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad -7.7184 \times 10^{-2}$$

Displacement and tilt(1)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.00$$

$$\alpha \quad 0.45 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(2)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad -0.03 \quad Z \quad 5.39$$

$$\alpha \quad 19.49 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(3)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad -2.43 \quad Z \quad 2.46$$

$$\alpha \quad 63.66 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(4)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 2.62 \quad Z \quad 2.63$$

$$\alpha \quad 93.65 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(5)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 2.62 \quad Z \quad 2.63$$

$$\alpha \quad 85.26 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(6)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.00$$

$$\alpha \quad -0.10 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(7)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 7.03$$

$$\alpha \quad -26.24 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(8)

X 0.00 Y 3.27 Z 4.52
 α -71.85 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(9)

X 0.00 Y -2.68 Z 4.39
 α -97.19 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(10)

X 0.00 Y -2.68 Z 4.39
 α -88.32 β 0.00 γ 0.00

Example 6

Surface No.	Radius of curvature	Surface separation	Displacement and tilt	Refractive index	Abbe's No.
Object plane	∞	-1000.00			
1	∞ (Stop)	0.10			
2	∞ (HRP 1)				
3	FFS①		(1)	1.4924	57.6
4	FFS②		(2)	1.4924	57.6
5	FFS③		(3)	1.4924	57.6
6	FFS④		(4)		
7	∞ (HRP 2)	0.97	(5)		
8	∞ (HRP 3)				
9	FFS⑤		(6)	1.4924	57.6
10	FFS⑥		(7)	1.4924	57.6
11	FFS⑦		(8)	1.4924	57.6
12	FFS⑧		(9)		
13	∞ (HRP 4)	2.40	(10)		

Image ∞
plane

FFS①

$$C_4 \quad 1.1706 \times 10^{-1} \quad C_6 \quad -5.6558 \times 10^{-2}$$

FFS②

$$C_4 \quad -2.0385 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad -3.1632 \times 10^{-2}$$

FFS③

$$C_4 \quad 1.2591 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 2.8642 \times 10^{-2}$$

FFS④

$$C_4 \quad -1.3808 \times 10^{-1} \quad C_6 \quad -9.3678 \times 10^{-2}$$

FFS⑤

$$C_4 \quad -4.4289 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 3.3935 \times 10^{-2}$$

FFS⑥

$$C_4 \quad -2.1843 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad -3.2128 \times 10^{-2}$$

FFS⑦

$$C_4 \quad 2.0501 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 3.0838 \times 10^{-3}$$

FFS⑧

$$C_4 \quad -1.1510 \times 10^{-1} \quad C_6 \quad -1.6756 \times 10^{-3}$$

Displacement and tilt(1)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.00$$

$$\alpha \quad -13.86 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(2)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.78 \quad Z \quad 4.77$$

$$\alpha \quad 35.40 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(3)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad -2.16 \quad Z \quad 3.18$$

$$\alpha \quad 82.52 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(4)

X 0.00 Y 4.33 Z 1.62
 α 104.75 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(5)

X 0.00 Y 4.33 Z 1.62
 α 102.85 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(6)

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00
 α 0.80 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(7)

X 0.00 Y 0.03 Z 7.09
 α 25.76 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(8)

X 0.00 Y -2.36 Z 5.16
 α 78.05 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(9)

X 0.00 Y 3.60 Z 3.58
 α 117.95 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(10)

X 0.00 Y 3.60 Z 3.58
 α 98.20 β 0.00 γ 0.00

Example 7

Surface No.	Radius of curvature	Surface separation	Displacement and tilt	Refractive index	Abbe's No.
Object plane	∞	-1000.00			

1	∞ (Stop)	0.11			
---	-----------------	------	--	--	--

2	∞ (HRP 1)				
---	------------------	--	--	--	--

3	FFS①	(1)	1.4924	57.6
4	FFS②	(2)	1.4924	57.6
5	FFS③	(3)	1.4924	57.6
6	FFS④	(4)		
7	∞ (HRP 2)	1.31	(5)	
8	∞ (HRP 3)			
9	FFS⑤	(6)	1.4924	57.6
10	FFS⑥	(7)	1.4924	57.6
11	FFS⑦	(8)	1.4924	57.6
12	FFS⑧	(9)		
13	∞ (HRP 4)	2.11	(10)	

Image
plane

FFS①

C_4	7.9718×10^{-2}	C_6	-1.1269×10^{-2}	C_8	-1.0176×10^{-2}
C_{10}	-2.6805×10^{-2}	C_{11}	1.6790×10^{-3}	C_{13}	1.5078×10^{-3}
C_{15}	-6.3750×10^{-3}				

FFS②

C_4	-4.6138×10^{-2}	C_6	-4.8462×10^{-2}	C_8	-4.4935×10^{-5}
C_{10}	-7.7648×10^{-4}	C_{11}	5.4654×10^{-4}	C_{13}	-2.2718×10^{-4}
C_{15}	-1.4747×10^{-4}				

FFS③

C_4	1.3369×10^{-2}	C_6	9.0659×10^{-3}	C_8	9.7824×10^{-3}
C_{10}	-1.7847×10^{-3}	C_{11}	-1.0220×10^{-3}	C_{13}	-2.0190×10^{-3}
C_{15}	-1.2885×10^{-3}				

FFS④

C_4	-1.5289×10^{-1}	C_6	-1.4219×10^{-1}	C_8	5.0554×10^{-3}
C_{10}	-8.5660×10^{-3}	C_{11}	-1.4963×10^{-3}	C_{13}	8.8480×10^{-4}

$$C_{15} -7.7840 \times 10^{-4}$$

FFS⑤

$$C_4 -8.6606 \times 10^{-2} \quad C_6 -3.9618 \times 10^{-2} \quad C_8 -5.2433 \times 10^{-3}$$

$$C_{10} -2.0308 \times 10^{-2} \quad C_{11} -1.6410 \times 10^{-4} \quad C_{13} 7.6935 \times 10^{-4}$$

$$C_{15} -5.7553 \times 10^{-4}$$

FFS⑥

$$C_4 -1.8763 \times 10^{-2} \quad C_6 -2.2577 \times 10^{-2} \quad C_8 -5.4033 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} -3.6774 \times 10^{-4} \quad C_{11} 5.2947 \times 10^{-5} \quad C_{13} -5.7964 \times 10^{-5}$$

$$C_{15} -7.9440 \times 10^{-6}$$

FFS⑦

$$C_4 3.1927 \times 10^{-2} \quad C_6 1.6149 \times 10^{-2} \quad C_8 -1.5527 \times 10^{-3}$$

$$C_{10} -9.9188 \times 10^{-4} \quad C_{11} 6.7759 \times 10^{-5} \quad C_{13} -8.4522 \times 10^{-5}$$

$$C_{15} 1.1927 \times 10^{-5}$$

FFS⑧

$$C_4 8.2308 \times 10^{-2} \quad C_6 4.6678 \times 10^{-2} \quad C_8 -2.7504 \times 10^{-2}$$

$$C_{10} 4.9285 \times 10^{-3} \quad C_{11} 3.1889 \times 10^{-4} \quad C_{13} 1.4557 \times 10^{-3}$$

$$C_{15} 6.0455 \times 10^{-3}$$

Displacement and tilt(1)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.00$$

$$\alpha \quad -0.81 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(2)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.05 \quad Z \quad 5.52$$

$$\alpha \quad 19.05 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(3)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad -2.55 \quad Z \quad 2.14$$

$$\alpha \quad 62.09 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

Displacement and tilt(4)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 2.65 \quad Z \quad 2.45$$

α 96.69 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(5)

X 0.00 Y 2.65 Z 2.45

α 81.57 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(6)

X 0.00 Y 0.00 Z 0.00

α 13.38 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(7)

X 0.00 Y 0.55 Z 7.02

α -25.04 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(8)

X 0.00 Y 3.04 Z 5.24

α -79.35 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(9)

X 0.00 Y -2.83 Z 3.76

α -102.06 β 0.00 γ 0.00

Displacement and tilt(10)

X 0.00 Y -2.83 Z 3.76

α -105.20 β 0.00 γ 0.00

Example 8

Surface No.	Radius of curvature	Surface separation	Displacement and tilt	Refractive index	Abbe's No.
Object plane	∞	-1000.00			
1	∞ (Stop)	0.10			
2	∞ (HRP 1)				
3	FFS ①		(1)	1.4924	57.6

4	FFS②	(2)	1.4924	57.6
5	FFS③	(3)	1.4924	57.6
6	FFS④	(4)		
7	∞ (HRP 2)	1.08 (5)		
8	∞ (HRP 3)			
9	FFS⑤	(6)	1.4924	57.6
10	FFS⑥	(7)	1.4924	57.6
11	FFS⑦	(8)	1.4924	57.6
12	FFS⑧	(9)		
13	∞ (HRP 4)	2.05 (10)		
Image plane	∞			

FFS①

C_4	4.6940×10^{-2}	C_6	-5.4801×10^{-2}	C_8	2.4076×10^{-2}
C_{10}	-2.5017×10^{-2}	C_{11}	7.6467×10^{-3}	C_{13}	2.4375×10^{-2}
C_{15}	-2.6368×10^{-3}				

FFS②

C_4	-3.8851×10^{-2}	C_6	-4.5014×10^{-2}	C_8	-2.0800×10^{-4}
C_{10}	-1.3013×10^{-3}	C_{11}	-5.5109×10^{-5}	C_{13}	-4.1175×10^{-5}
C_{15}	-4.3413×10^{-5}				

FFS③

C_4	1.5483×10^{-2}	C_6	5.8148×10^{-3}	C_8	7.2040×10^{-3}
C_{10}	-1.0978×10^{-3}	C_{11}	-2.5074×10^{-4}	C_{13}	7.1064×10^{-4}
C_{15}	-4.0019×10^{-4}				

FFS④

C_4	-4.2258×10^{-2}	C_6	-1.6036×10^{-1}	C_8	-4.3143×10^{-2}
C_{10}	-2.0643×10^{-4}	C_{11}	2.9217×10^{-3}	C_{13}	2.9462×10^{-3}
C_{15}	-7.6527×10^{-4}				

FFS⑤

C_4	-4.9187×10^{-2}	C_6	-8.3739×10^{-2}	C_8	-4.6136×10^{-2}
C_{10}	-2.3379×10^{-2}	C_{11}	1.6330×10^{-4}	C_{13}	-3.2823×10^{-3}
C_{15}	1.2878×10^{-3}				

FFS⑥

C_4	-2.7971×10^{-2}	C_6	-2.9992×10^{-2}	C_8	-1.1174×10^{-3}
C_{10}	-1.3738×10^{-5}	C_{11}	9.6373×10^{-5}	C_{13}	3.9779×10^{-5}
C_{15}	3.1647×10^{-5}				

FFS⑦

C_4	2.8295×10^{-2}	C_6	9.2540×10^{-3}	C_8	9.1533×10^{-4}
C_{10}	1.2919×10^{-3}	C_{11}	6.1071×10^{-5}	C_{13}	-5.1722×10^{-5}
C_{15}	1.6654×10^{-4}				

FFS⑧

C_4	1.2536×10^{-1}	C_6	6.8961×10^{-3}	C_8	-7.0960×10^{-2}
C_{10}	-8.5531×10^{-3}	C_{11}	2.4529×10^{-2}	C_{13}	-9.8519×10^{-3}
C_{15}	3.0143×10^{-4}				

Displacement and tilt(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	-11.36	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(2)

X	0.00	Y	0.74	Z	5.54
α	30.35	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(3)

X	0.00	Y	-1.96	Z	3.51
α	79.66	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(4)

X	0.00	Y	4.73	Z	1.56
α	117.16	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(5)

X	0.00	Y	4.73	Z	1.56
α	100.69	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(6)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	4.88	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(7)

X	0.00	Y	0.18	Z	6.51
α	29.22	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(8)

X	0.00	Y	-2.40	Z	4.82
α	84.33	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(9)

X	0.00	Y	2.98	Z	2.66
α	113.54	β	0.00	γ	0.00

Displacement and tilt(10)

X	0.00	Y	2.98	Z	2.66
α	111.00	β	0.00	γ	0.00

次に、上記実施例1の横収差図を図9に示す。この横収差図において、括弧内に示された数字は（水平（X方向）画角、垂直（Y方向）画角）を表し、その画角における横収差を示す。

なお、上記実施例1～8の条件式（1）～（4）の値は次の通りである。

条件式	実施例							
	1	2	3	4	5	6	7	8
(1)	0.86	0.87	0.77	0.80	0.71	0.47	0.90	0.77
(2)	0.80	0.49	0.20	0.25	0.24	0.29	0.26	0.30
(3)	0.17	0.61	0.54	0.33	0.30	0.50	0.37	0.55

(4) 0.99 0.81 1.33 0.61 0.59 0.68 0.83 0.93

さて、以上のような本発明の結像光学系は、物体像を形成しその像をCCDや銀塩フィルムといった撮像素子に受光させて撮影を行う撮影装置、とりわけカメラに用いることができる。また、物体像を接眼レンズを通して観察する観察装置、とりわけカメラのファインダー部の対物光学系としても用いることが可能である。また、内視鏡等の小型の撮像素子を用いた光学装置用の撮像光学系としても用いることができる。以下に、その実施形態を例示する。

図10～図12は、本発明の結像光学系を電子カメラのファインダー部の対物光学系に組み込んだ構成の概念図を示す。図10は電子カメラ40の外観を示す前方斜視図、図11は同後方斜視図、図12は電子カメラ40の構成を示す断面図である。電子カメラ40は、この例の場合、撮影用光路42を有する撮影光学系41、ファインダー用光路44を有するファインダー光学系43、シャッター45、フラッシュ46、液晶表示モニター47等を含み、カメラ40の上部に配置されたシャッター45を押圧すると、それに連動して撮影用対物光学系48を通して撮影が行われる。撮影用対物光学系48によって形成された物体像が、ローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルター51を介してCCD49の撮像面50上に形成される。このCCD49で受光された物体像は、処理手段52を介し、電子画像としてカメラ背面に設けられた液晶表示モニター47に表示される。また、この処理手段52にはメモリ等が配置され、撮影された電子画像を記録することもできる。なお、このメモリは処理手段52と別体に設けられてもよいし、フロッピーディスク等により電子的に記録書込を行うように構成してもよい。また、CCD49に代わって銀塩フィルムを配置した銀塩カメラとして構成してもよい。

さらに、ファインダー用光路44上には、ファインダー用対物光学系53が配置されており、このファインダー用対物光学系53は、カバーレンズ54、絞り2、プリズム10、フォーカス用レンズ66からなり、絞り2からプリズム10までの結像光学系として実施例1と同様のタイプの光学系を用いている。また、

カバー部材として用いられているカバーレンズ54は、負のパワーを有するレンズであり、画角を拡大している。また、プリズム10の後方に配置されているフォーカス用レンズ66は光軸の前後方向へ位置調節可能になっており、ファインダー用対物光学系53のピント調節に用いられる。このファインダー用対物光学系53によって結像面67上に形成された物体像は、像正立部材であるポロプリズム55の視野枠57上に形成される。なお、視野枠57は、ポロプリズム55の第1反射面56と第2反射面58との間を分離し、その間に配置されている。このポロプリズム55の後方には、正立正像にされた像を観察者眼球Eに導く接眼光学系59が配置されている。

このように構成されたカメラ40は、ファインダー用対物光学系53を少ない光学部材で構成でき、高性能・低コスト化が実現できると共に、対物光学系53の光路自体を折り曲げて構成できるため、カメラ内部での配置の自由度が増し、設計上有利となる。

なお、図12の構成において、撮影用対物光学系48の構成については言及しなかったが、撮影用対物光学系48としては屈折型同軸光学系の他に、本発明の1つのプリズム10あるいは2つのプリズム21、22からなる何れかのタイプの結像光学系を用いることも当然可能である。

次に、図13は、本発明の結像光学系を電子カメラ40の撮影部の対物光学系48に組み込んだ構成の概念図を示す。この例の場合は、撮影用光路42上に配置された撮影用対物光学系48は、実施例5と同様の結像光学系を用いている。この撮影用対物光学系により形成された物体像は、ローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルター51を介してCCD49の撮像面50上に形成される。このCCD49で受光された物体像は、処理手段52を介し、液晶表示素子(LCD)60上に電子像として表示される。また、この処理手段52は、CCD49で撮影された物体像を電子情報として記録する記録手段61の制御も行う。LCD60に表示された画像は、接眼光学系59を介して観察者眼球Eに導かれる。この接眼光学系59は偏心プリズムからなり、この例では、入射面62と、反射面63と、反射と屈折の兼用面64の3面から構成されている。また、

2つの反射作用を持った面63、64の中、少なくとも一方の面、望ましくは両方の面が、光束にパワーを与え、かつ、偏心収差を補正する唯一の対称面を持つ面対称自由曲面にて構成されている。そして、この唯一の対称面は、撮影用対物光学系48のプリズム21、22が有する面対称自由曲面の唯一の対称面と略同一平面上に形成されている。また、この撮影用対物光学系48は他のレンズ（正レンズ、負レンズ）をプリズム21、22の物体側、プリズム間あるいは像側にその構成要素として含んでいてもよい。

このように構成されたカメラ40は、撮影用対物光学系48を少ない光学部材で構成でき、高性能・低コスト化が実現できると共に、光学系全体を同一平面上に並べて配置できるため、この配置平面と垂直方向の厚みの薄型化が実現できる。

なお、本例では、撮影用対物光学系48のカバー部材65はとして、平行平板を配置しているが、前例と同様に、パワーを持ったレンズを用いてもよい。

ここで、カバー部材を設けずに、本発明の結像光学系中の最も物体側に配置された面をカバー部材と兼用することもできる。本例ではその最も物体側の面はプリズム10の入射面となる。しかし、この入射面が光軸に対して偏心配置されているため、この面がカメラ前面に配置されてしまうと、被写体側から見た場合、カメラ40の撮影中心が自分からずれているように錯覚してしまい（一般的なカメラ同様、入射面の垂直方向を撮影していると感じるのが通常である。）、違和感を与えてしまう。そこで、本例のように、結像光学系の最も物体側の面が偏心面である場合には、カバー部材65（又は、カバーレンズ54）を設けることが、被写体側から見た場合に違和感を感じずに、既存のカメラと同じ感覚で撮影を受けることができ望ましい。

次に、図14は、本発明による結像光学系を電子内視鏡の観察系の対物光学系82に、本発明による結像光学系を電子内視鏡の観察系の接眼光学系87に組み込んだ構成の概念図を示す。この例の場合、観察系の対物光学系82は実施例1と同様の形態の光学系を用いており、接眼光学系87も実施例5と同様の形態の光学系を用いている。この電子内視鏡は、図14（a）に示すように、電子内視

鏡 7 1 と、照明光を供給する光源装置 7 2 と、その電子内視鏡 7 1 に対応する信号処理を行うビデオプロセッサ 7 3 と、このビデオプロセッサ 7 3 から出力される映像信号を表示するモニター 7 4 と、このビデオプロセッサ 7 3 と接続され映像信号等に記録する V T R デッキ 7 5、及び、ビデオディスク 7 6 と、映像信号を映像としてプリントアウトするビデオプリンタ 7 7 と、頭部装着型画像表示装置 (HMD) 7 8 と共に構成されており、電子内視鏡 7 1 の挿入部 7 9 の先端部 8 0 と、その接眼部 8 1 は、図 1 4 (b) に示すように構成されている。光源装置 7 2 から照明した光束は、ライトガイドファイバー束 8 8 を通って照明用対物光学系 8 9 により、観察部位を照明する。そして、この観察部位からの光が、カバー部材 8 5 を介して、観察用対物光学系 8 2 によって物体像として形成される。この物体像は、ローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルター 8 3 を介して C C D 8 4 の撮像面上に形成される。さらに、この物体像は、C C D 8 4 によって映像信号に変換され、その映像信号は、図 1 4 (a) に示すビデオプロセッサ 7 3 により、モニター 7 4 上に直接表示されると共に、V T R デッキ 7 5、ビデオディスク 7 6 中に記録され、また、ビデオプリンタ 7 7 から映像としてプリントアウトされる。また、HMD 7 8 の画像表示素子に表示され HMD 7 8 の装着者に表示される。同時に、C C D 8 4 によって変換された映像信号は接眼部 8 1 の液晶表示素子 (L C D) 8 6 上に電子像として表示され、その表示像は本発明の観察光学系からなる接眼光学系 8 7 を経て観察者眼球 E に導かれる。

このように構成された内視鏡は、少ない光学部材で構成でき、高性能・低コスト化が実現できると共に、対物光学系 8 0 が内視鏡の長軸方向に並ぶため、細径化を阻害することなく上記効果を得ることができる。

ところで、結像光学系は光路を逆にすることにより投影光学系としても用いることができる。図 1 5 に、パソコン 9 0 と液晶プロジェクタ 9 1 とを組み合わせたプレゼンテーションシステムの投影光学系 9 6 に本発明によるプリズム光学系を用いた構成の概念図を示す。この例の場合は、投影光学系 9 6 に実施例 1 と同様の結像光学系を光路を逆にして用いている。同図において、パソコン 9 0 上で

作成された画像・原稿データは、モニタ出力から分岐して液晶プロジェクタ 9 1 の処理制御部 9 8 に出力される。液晶プロジェクタ 9 1 の処理制御部 9 8 では、この入力されたデータが処理され、液晶パネル (LCP) 9 3 に出力される。液晶パネル 9 3 では、この入力画像データに応じた画像が表示される。そして、光源 9 2 からの光は、液晶パネル 9 3 に表示した画像の階調によってその透過量が決定された後、液晶パネル 9 3 直前に配置したフィールドレンズ 9 5 と本発明の結像光学系を構成するプリズム 1 0 と正レンズのカバーレンズ 9 4 とからなる投影光学系 9 6 を介してスクリーン 9 7 に投影される。

このように構成されたプロジェクタは、少ない光学部材で構成でき、高性能・低コスト化が実現できると共に、小型化が可能である。

次に、本発明による結像光学系を CCD やフィルター等の撮像素子前方に配置するときの望ましい構成を図 1 6 に示す。図中、偏心プリズム P は、本発明の結像光学系中に含まれるプリズム部材の像側部分あるいは第 2 プリズムである。いま、撮像素子の撮像面 C が、図のように四角形を形成するとき、偏心プリズム P に配置された面対称自由曲面の対称面 F が、この撮像面 C の四角形を形成する辺の少なくとも 1 つと平行になるように配置することが、美しい像形成の上で望ましい。

さらに、この撮像面 C が正方形や長方形といった 4 つの内角がそれぞれ略 90° にて形成されている場合には、面対称自由曲面の対称面 F は、撮像面 C の互いに平行関係にある 2 辺に対して平行に配置され、より望ましくは、この 2 辺の中間に配置され、この対称面 F が撮像面 C を左右又は上下対称にする位置に一致している構成であることが好ましい。このように構成すれば、装置に組み込むときの組み込み精度が出しやすく、量産性に効果的である。

さらに、偏心プリズム P を構成する光学面である第 3 反射面、第 4 反射面、第 1 射出面の中、複数の面又は全ての面が面対称自由曲面の場合には、複数の面又は全ての面の対称面が同一面 F 上に配置されるように構成することが、設計上も、収差性能上も望ましい。そして、この対称面 F と撮像面 C との関係は、上述と同様の関係にあることが望ましい。

以上の説明から明らかなように、本発明によると、少ない光学素子の構成枚数で高性能、低コストな結像光学系を提供することができる。また、少ない反射回数の反射面を用いて光路を折り畳むことにより小型化、薄型化された高性能な結像光学系を提供することができる。

WHAT WE CLAIMS IS;

〔１〕 物体像を形成する全体として正の屈折力を有する結像光学系において、

前記結像光学系が、屈折率（ n ）が１よりも大きい（ $n > 1$ ）媒質で形成されたプリズム部材を有し、

前記プリズム部材が、物体からの光束をプリズム内に入射させる第１入射面と、プリズム内で光束を反射する第１反射面と第２反射面と第３反射面と第４反射面と、前記光束をプリズム外に射出する第１射出面とを有し、

前記第２反射面と前記第３反射面とを結ぶ光路が前記第１入射面と前記第１反射面とを結ぶ光路と交差すると共に、前記第２反射面と前記第３反射面とを結ぶ光路が前記第４反射面と前記第１射出面とを結ぶ光路と交差するように構成され、

前記第１反射面と前記第２反射面との少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、前記第３反射面と前記第４反射面との少なくとも一方の面が、光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成され、かつ、

前記第１反射面と前記第４反射面との間に中間像面を形成するように構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔２〕 クレーム１において、

前記プリズム部材が、第１入射面と第１反射面と第２反射面と第３反射面と第４反射面と第１射出面とを備えた接合又は一体型の１つのプリズムにて構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔３〕 クレーム１において、

前記プリズム部材が、前記第２反射面と前記第３反射面との間の光路中で分離された２つのプリズムから構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔４〕 クレーム１において、

前記プリズム部材が、前記第 1 入射面と前記第 1 反射面と前記第 2 反射面とによって三角形の軌道で光束が回転して第 1 の交差光路を形成すると共に、前記第 3 反射面と前記第 4 反射面と前記第 1 射出面とによって三角形の軌道で光束が回転して第 2 の交差光路を形成し、

前記第 1 の交差光路を形成する三角軌道の光束の回転方向が、前記第 2 の交差光路を形成する三角軌道の光束の回転方向と同一方向であるように構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔5〕 クレーム 1 において、

前記プリズム部材が、前記第 1 入射面と前記第 1 反射面と前記第 2 反射面とによって三角形の軌道で光束が回転して第 1 の交差光路を形成すると共に、前記第 3 反射面と前記第 4 反射面と前記第 1 射出面とによって三角形の軌道で光束が回転して第 2 の交差光路を形成し、

前記第 1 の交差光路を形成する三角軌道の光束の回転方向が、前記第 2 の交差光路を形成する三角軌道の光束の回転方向と逆方向であるように構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔6〕 クレーム 1 において、

前記第 1 反射面と前記第 2 反射面とが共に光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔7〕 クレーム 1 から 6 の何れか 1 項において、

前記第 3 反射面と前記第 4 反射面とが共に光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔8〕 クレーム 1 から 6 の何れか 1 項において、

前記第 1 入射面が光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔9〕 クレーム 1 から 6 の何れか 1 項において、

前記第1射出面が光束にパワーを与える曲面形状を有し、前記曲面形状が偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な面形状にて構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔10〕 クレーム1から6の何れか1項において、

前記プリズム部材の有する回転非対称な面形状が、唯一の対称面を1面のみ有した面对称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔11〕 クレーム10において、

前記プリズム部材の有する面对称自由曲面の唯一の対称面が、前記第1の交差光路の軸上主光線によって形成される面と一致するように構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔12〕 クレーム11において、

前記プリズム部材の有する面对称自由曲面の唯一の対称面が、前記第2の交差光路の軸上主光線によって形成される面と一致するように構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔13〕 クレーム1から12の何れか1項において、

前記中間像面が、前記第2反射面と前記第3反射面との間に形成されるように前記プリズム部材が構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔14〕 クレーム13において、

前記中間像面が略平面形状に構成されるように、前記プリズム部材の前記中間像面よりも物体側の光学作用面が全体として偏心収差を補正すると共に、前記プリズム部材の前記中間像面よりも結像面側の光学作用面が全体として偏心収差を補正するように構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔15〕 クレーム1から6の何れか1項において、

全光学系のX方向のパワーを P_x 、Y方向のパワーを P_y 、第1反射面、第2反射面、第3反射面、第4反射面のX方向のパワーをそれぞれ P_{x1-1} 、 P_{x1-2} 、 P_{x2-1} 、 P_{x2-2} 、Y方向のパワーをそれぞれ P_{y1-1} 、 P_{y1-2} 、 P_{y2-1} 、 P_{y2-2} とするとき、

$$0.4 < P_{x1-1} / P_x < 1.1 \quad \dots (1)$$

を満足するように構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔16〕 クレーム1から6の何れか1項において、

全光学系のX方向のパワーを P_x 、Y方向のパワーを P_y 、第1反射面、第2反射面、第3反射面、第4反射面のX方向のパワーをそれぞれ P_{x1-1} 、 P_{x1-2} 、 P_{x2-1} 、 P_{x2-2} 、Y方向のパワーをそれぞれ P_{y1-1} 、 P_{y1-2} 、 P_{y2-1} 、 P_{y2-2} とするとき、

$$0.1 < P_{x1-2} / P_x < 0.6 \quad \dots (2)$$

を満足するように構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔17〕 クレーム1から6の何れか1項において、

全光学系のX方向のパワーを P_x 、Y方向のパワーを P_y 、第1反射面、第2反射面、第3反射面、第4反射面のX方向のパワーをそれぞれ P_{x1-1} 、 P_{x1-2} 、 P_{x2-1} 、 P_{x2-2} 、Y方向のパワーをそれぞれ P_{y1-1} 、 P_{y1-2} 、 P_{y2-1} 、 P_{y2-2} とするとき、

$$0.2 < P_{x2-1} / P_x < 1 \quad \dots (3)$$

を満足するように構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔18〕 クレーム1から6の何れか1項において、

全光学系のX方向のパワーを P_x 、Y方向のパワーを P_y 、第1反射面、第2反射面、第3反射面、第4反射面のX方向のパワーをそれぞれ P_{x1-1} 、 P_{x1-2} 、 P_{x2-1} 、 P_{x2-2} 、Y方向のパワーをそれぞれ P_{y1-1} 、 P_{y1-2} 、 P_{y2-1} 、 P_{y2-2} とするとき、

$$0.5 < P_{x2-1} / P_{y2-1} < 2.0 \quad \dots (4)$$

を満足するように構成されていることを特徴とする結像光学系。

〔19〕 クレーム1から6の何れか1項記載の結像光学系をファインダー対物光学系として配置し、さらに、前記ファインダー対物光学系によって形成された物体像を正立正像させる像正立光学系と、接眼光学系とから構成されていることを特徴とするファインダー光学系。

〔20〕 クレーム19記載のファインダー光学系と、前記ファインダー光学系と併設された撮影用対物光学系とを備えて構成されていることを特徴とする

カメラ装置。

〔21〕 クレーム1から6の何れか1項記載の結像光学系と、前記結像光学系によって形成される像面上に配置された撮像素子とを備えて構成されていることを特徴とする撮像光学系。

〔22〕 クレーム1から6の何れか1項記載の結像光学系を撮影用対物光学系として配置し、前記撮影用光学系とは別の光路、又は、前記撮影用対物光学系の光路から分割された光路の何れかの中に配置されたファインダー光学系を備えて構成されていることを特徴とするカメラ装置。

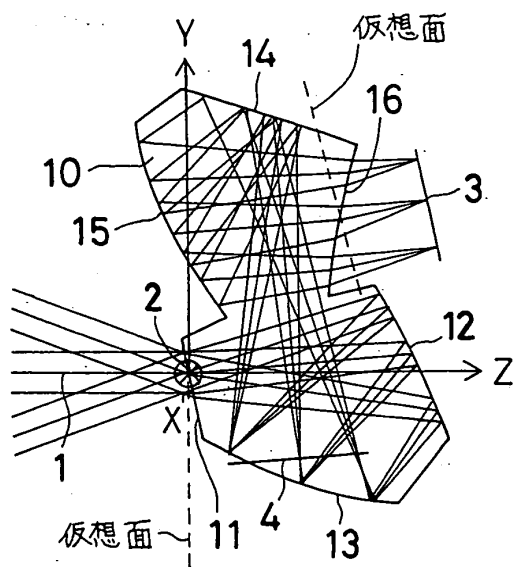
〔23〕 クレーム1から6の何れか1項記載の結像光学系と、前記結像光学系によって形成される像面上に配置された撮像素子と、前記撮像素子で受光された像情報を記録する記録媒体と、前記記録媒体又は前記撮像素子からの像情報を受けて観察像を形成する画像表示素子とを備えて構成されていることを特徴とする電子カメラ装置。

〔24〕 クレーム1から6の何れか1項記載の結像光学系と、前記結像光学系によって形成される像を長軸方向に沿って伝達する像伝達部材とを有する観察系と、照明光源及び前記照明光源からの照明光を前記長軸方向に沿って伝達する照明光伝達部材を有する照明系とを備えて構成されていることを特徴とする内視鏡装置。

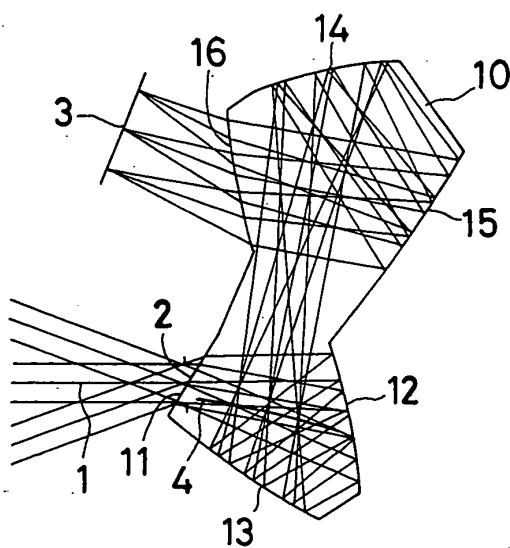
ABSTRACT

本発明は、少ない反射回数の反射面を用いて光路を折り畳むことにより小型化、薄型化された高性能な結像光学系に関し、プリズム部材 1 0 が第 1 入射面 1 1 と第 1 乃至第 4 反射面 1 2 ~ 1 5 と第 1 射出面 1 6 とを有し、第 1 反射面 1 2 に入射する光路と第 2 反射面 1 3 からの反射光路とが交差光路を形成すると共に、第 3 反射面 1 4 に入射する光路と第 4 反射面 1 5 からの反射光路とが交差光路が形成し、第 1 反射面 1 2 と第 2 反射面 1 3 の少なくとも一方、及び、第 3 反射面 1 4 と第 4 反射面 1 5 の少なくとも一方が光束にパワーを与え、偏心によって発生する収差を補正する回転非対称な曲面形状を有し、第 1 反射面 1 2 と第 4 反射面 1 5 との間に中間像面を形成するように構成されている。

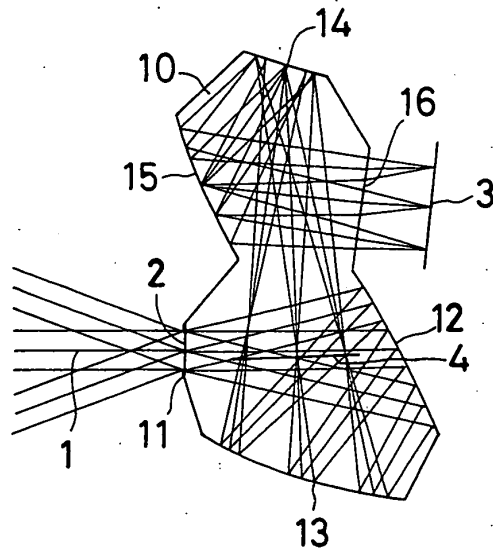
第 1 図



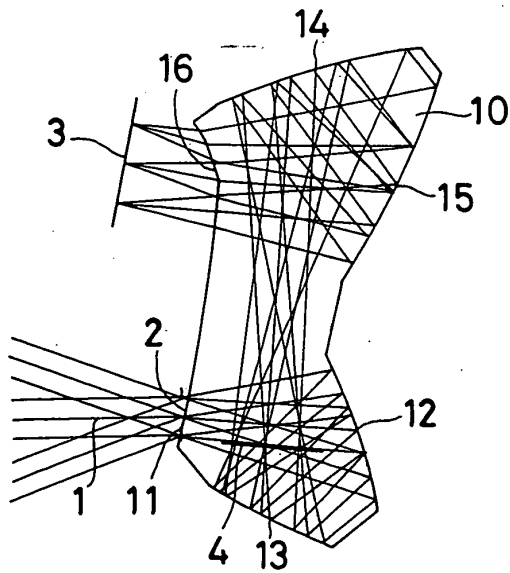
第 2 図



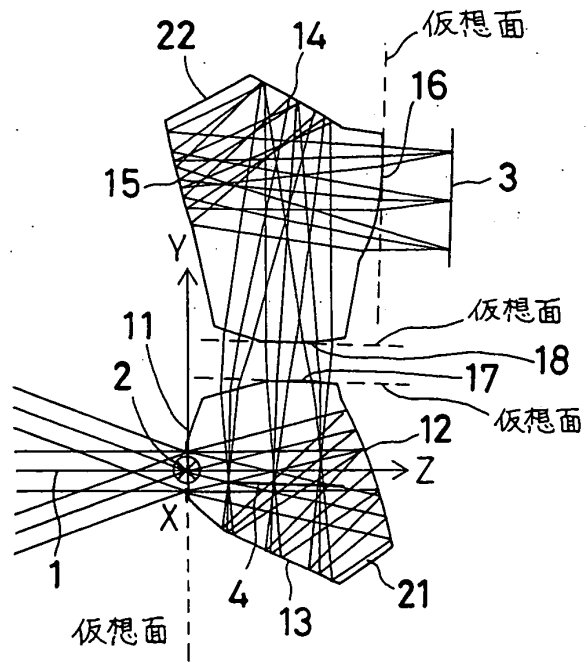
第3図



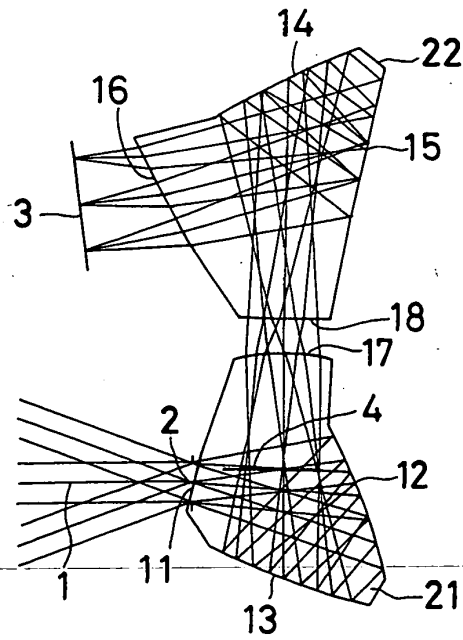
第4図



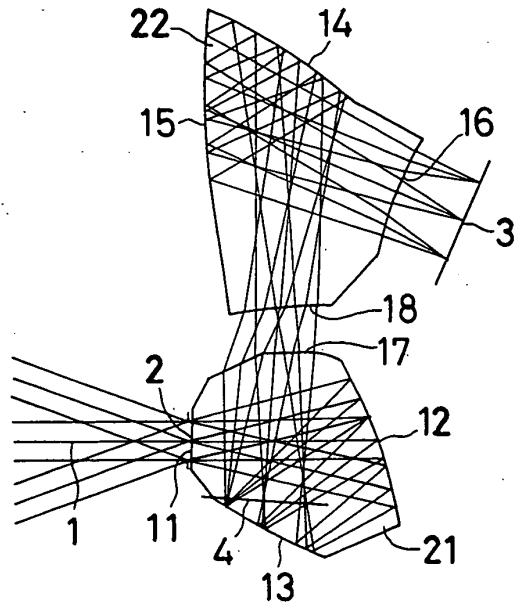
第 5 图



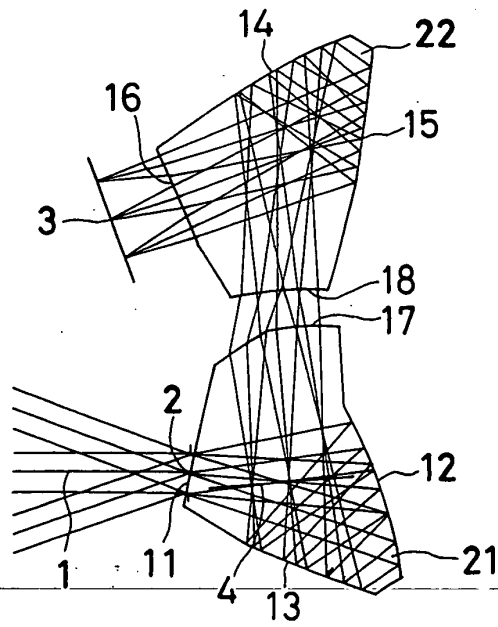
第 6 图



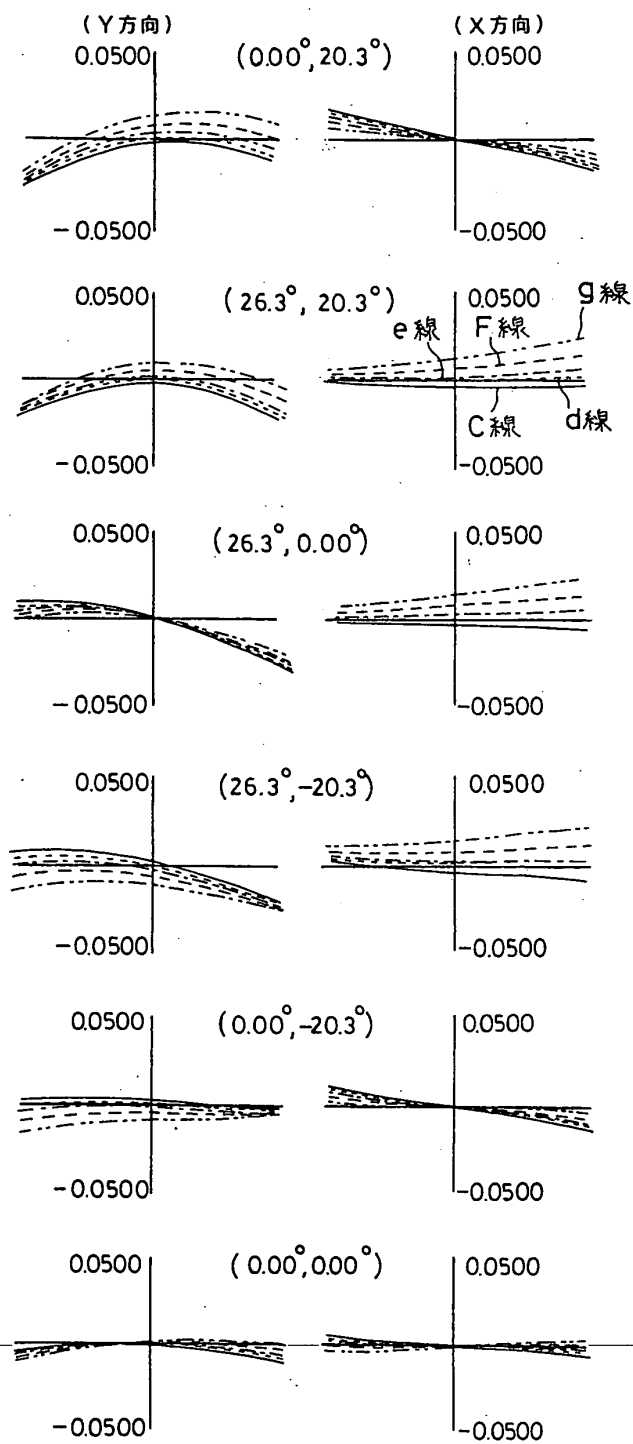
第 7 図



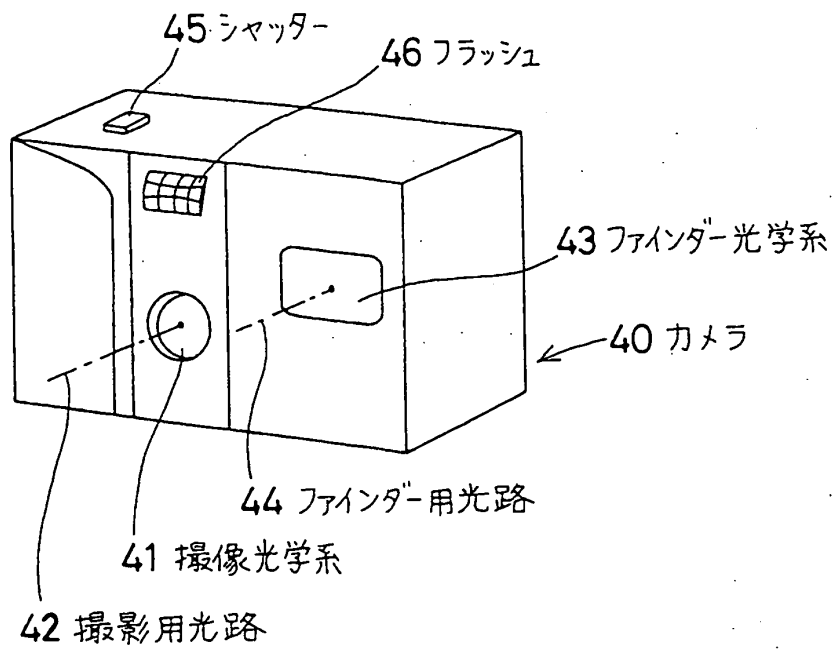
第 8 図



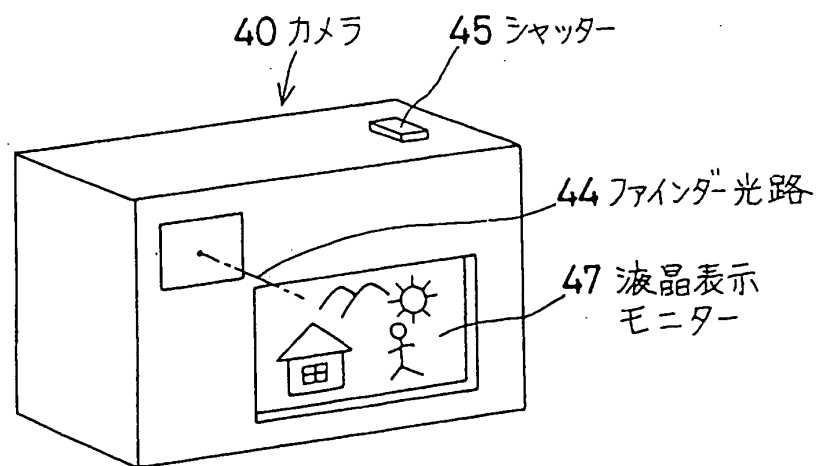
第 9 圖



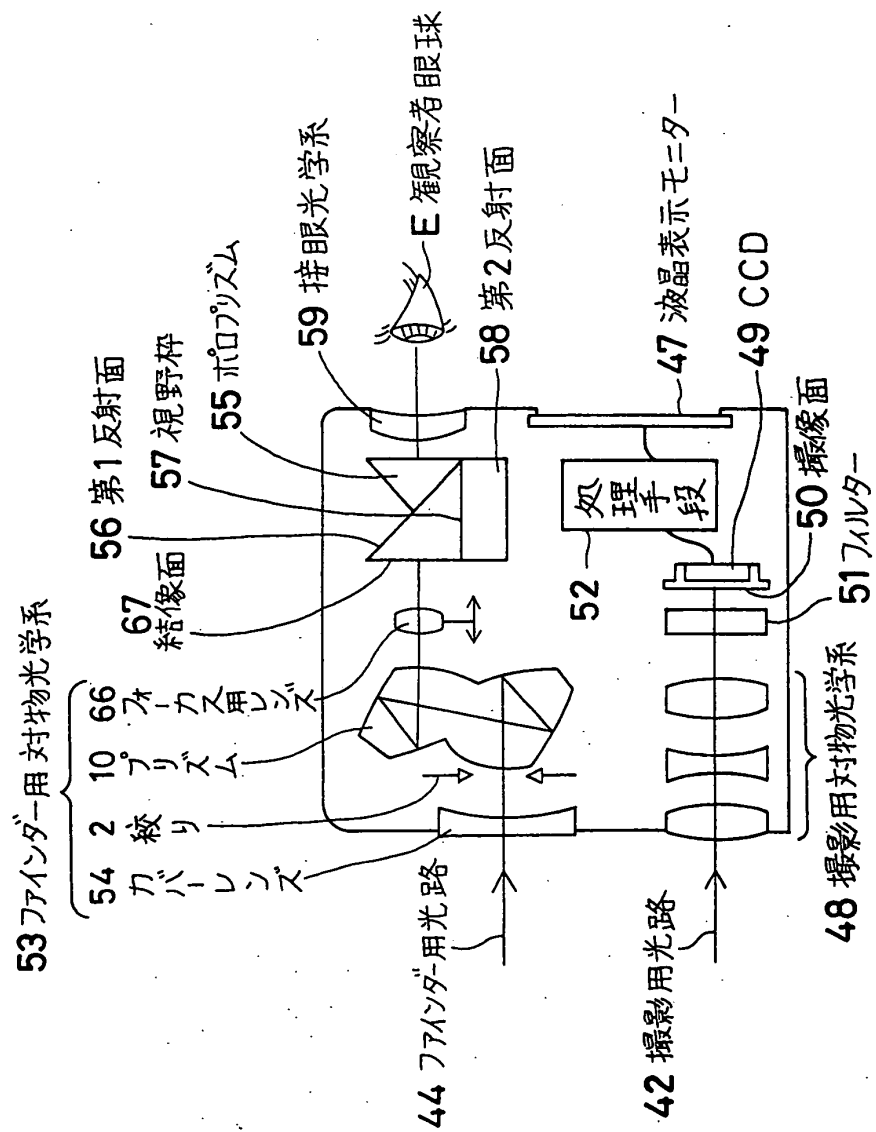
第 1 0 図



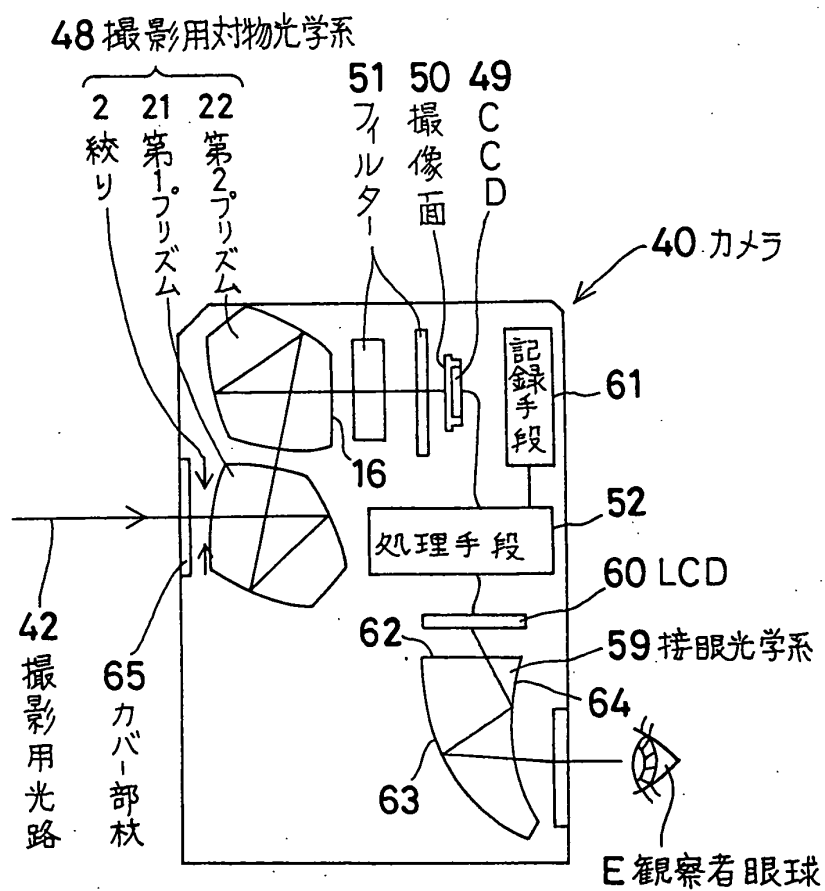
第 1 1 図



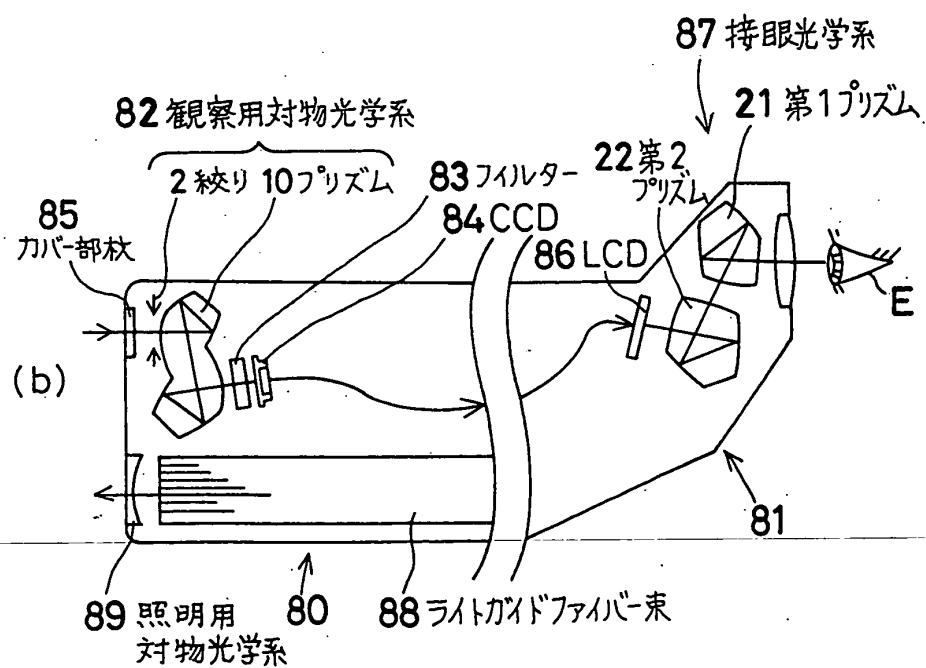
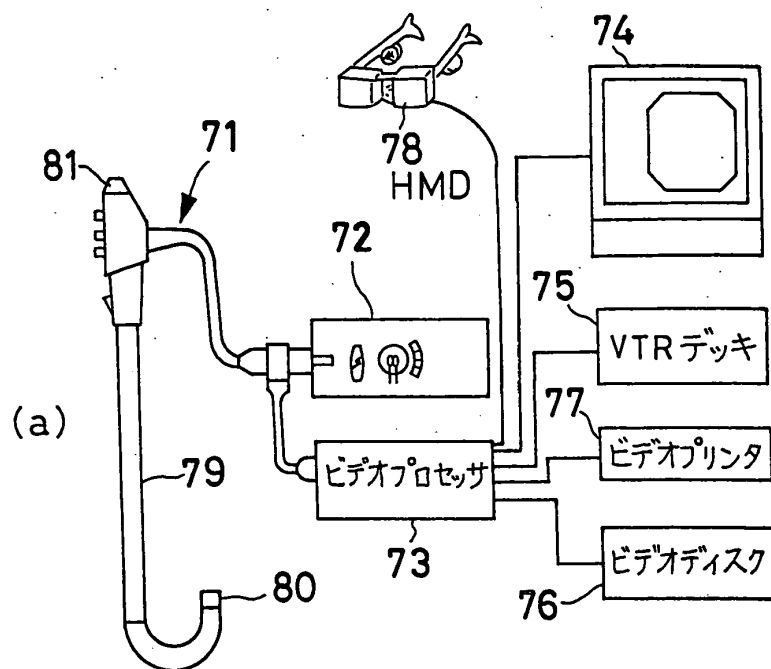
第 1 2 図



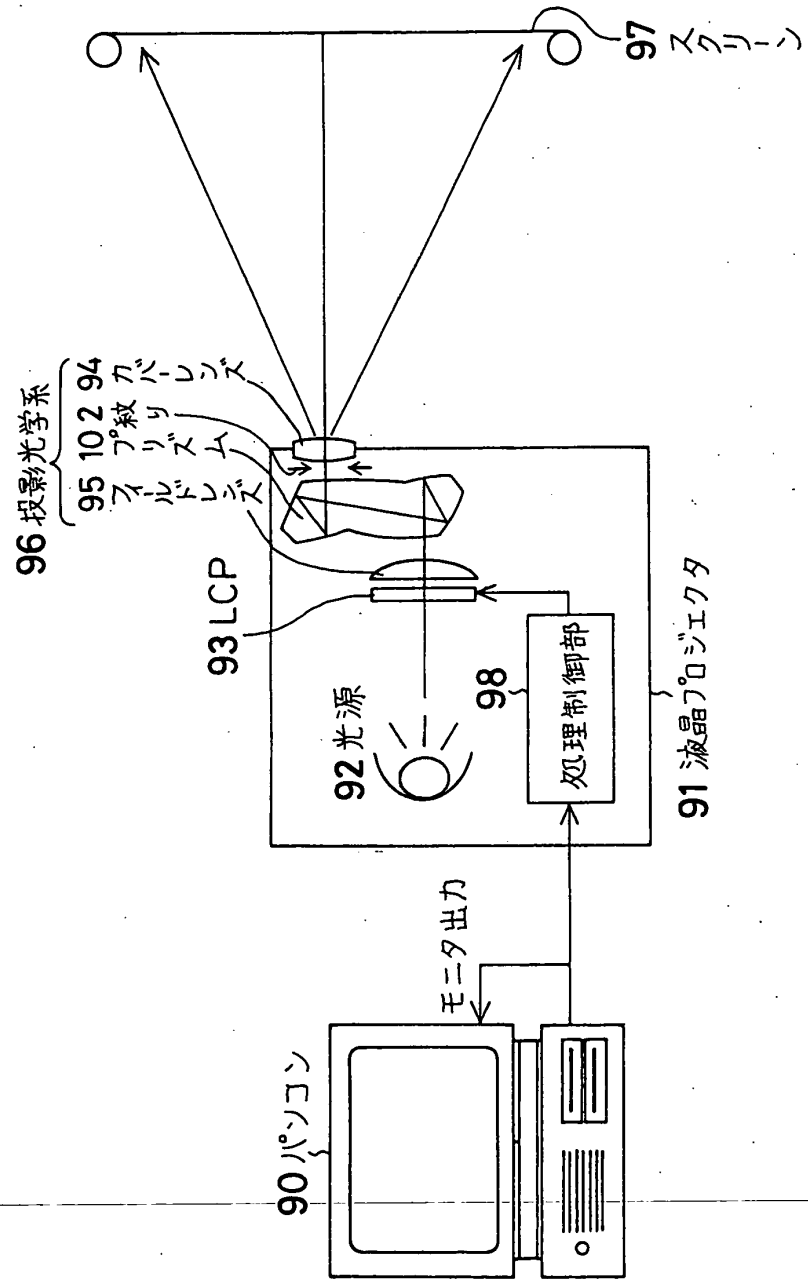
第 1 3 図



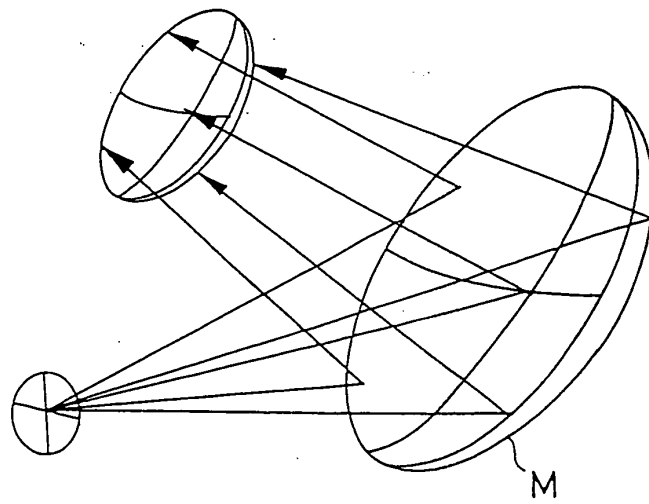
第 1 4 図



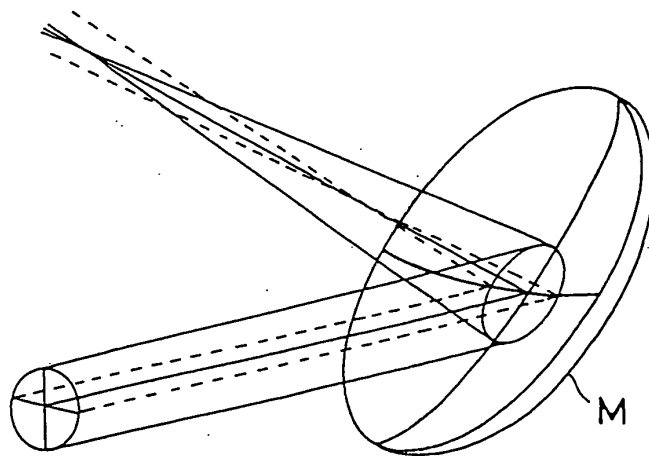
第 1 5 図



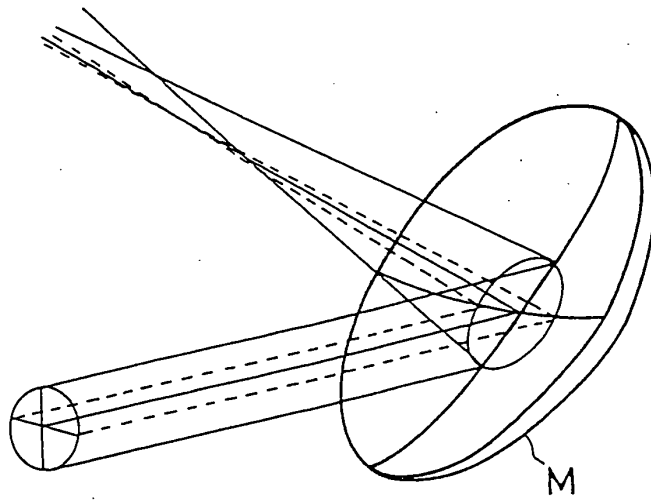
第 1 6 図



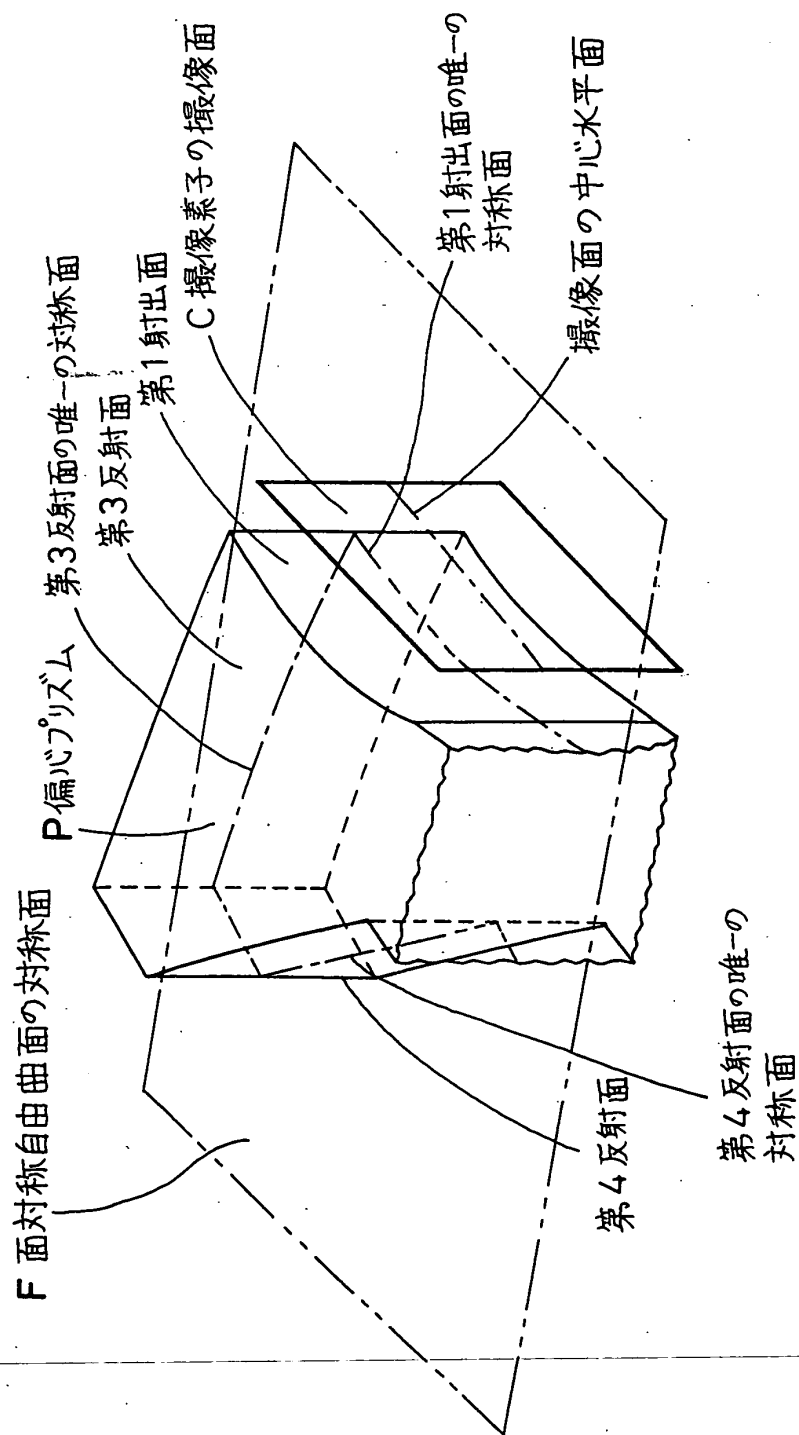
第 1 7 図



第 18 図



第19図



第 20 圖

